

3 2044 073 351 959













# HANDBUCH DER HYGIENE.

I. THEIL.

2. ABTHEILUNG. 1. HEFT.

---

V. ZIEMSEN'S HANDBUCH  
PER  
SPECIELLEN PATHOLOGIE UND THERAPIE.  
ERSTER BAND.  
Dritte umgearbeitete Auflage.

---

HANDBUCH DER HYGIENE  
UND DER  
GEWERBEKRANKHEITEN

BEARBEITET VON

DR. A. BAER IN BERLIN, DR. F. ERISMANN IN MOSKAU, PROF. DR. C. FLÜGGE IN GÖTTINGEN, PROF.  
J. FORSTER IN AMSTERDAM, PROF. A. GEIGEL IN WÜRZBURG, BAUR. L. DEGEN IN REGENSBURG, PROF.  
A. HILGER IN ERLANGEN, PROF. L. HIRT IN Breslau, DR. A. KUNKEL IN WÜRZBURG, DR. G. MERKEL  
IN NÜRNBERG, PROF. V. PETTENKOFER IN MÜNCHEN, DR. F. RENK IN MÜNCHEN, DR. A. SCHUSTER  
IN MÜNCHEN, DR. J. SOYKA IN MÜNCHEN UND DR. G. WOLFFHÜGEL IN BERLIN.

HERAUSGEGEBEN

VON

Prof. Dr. M. v. PETTENKOFER und Prof. Dr. H. v. ZIEMSEN.

---

ERSTER THEIL.

2. ABTHEILUNG. 1. HEFT.

Fermente und Mikroparasiten

VON

Prof. Dr. C. Flügge.

---

LEIPZIG,  
VERLAG VON F. C. W. VOGEL.  
1883.



# HANDBUCH DER HYGIENE

UND DER

## GEWERBEKRANKHEITEN.

---

ERSTER THEIL.

### INDIVIDUELLE HYGIENE.

2. ABTHEILUNG. 1. HEFT.

---

## Fermente und Mikroparasiten

VON

Prof. Dr. C. FLÜGGE in Göttingen.

MIT 65 ABBILDUNGEN.

---

LEIPZIG,

VERLAG VON F.C.W.VOGEL.

1883.



14463

Das Uebersetzungsrecht ist vorbehalten.



## VORWORT.

---

Die Bearbeitung des vorliegenden Beitrags zum Handbuch der Hygiene habe ich nur langsam und mit zahlreichen Unterbrechungen ausführen können, weil meine Zeit durch meine Lehrthätigkeit mehr und mehr in Anspruch genommen wurde. Aus diesem Grunde ist, namentlich für die erste Hälfte der Arbeit, die Literatur des Jahres 1882 nicht mehr vollständig verwerthet worden. Als wichtigste neuere Forschungsergebnisse, die keine Aufnahme im systematischen Theil mehr finden konnten, mögen hier besonders hervorgehoben sein: die von FEHLEISEN ausgeführte Züchtung der Erysipelkokken auf Pepton-Fleischinfusgelatine und die wirksame Uebertragung dieser Cultur auf Menschen (FEHLEISEN, die Aetiologie des Erysipels, Berlin 1883); ferner die Entdeckung, Züchtung und Ueberimpfung der Rotzbacillen durch LOEFFLER und SCHÜTZ (BOERNER'S deutsche medicinische Wochenschrift 1882, No. 52); endlich die Züchtung und Uebertragung der Gonorrhoe-Mikrokokken durch BOCKHART (Sitzungsbericht der Würzburger phys.-med. Ges. 1882. Sept.).

Die im Verhältniss zu der Ausdehnung des behandelten Themas knapp zugemessene Bogenzahl, sowie der Umstand, dass es unmöglich ist, in einem von mehreren Autoren verfassten Handbuche dem einzelnen Theil eine selbstständige Gestalt zu geben, mögen es erklären, wenn an einigen Stellen des Textes scheinbar Lücken oder zu kurze Andeutungen sich finden. Die übrigen Capitel des Handbuchs werden hier ergänzend eintreten.

Die Abbildungen sind theils nach eigenen Zeichnungen ausgeführt, theils aus LEUNI'S Synopsis, aus COHN'S und KOCH'S Publicationen entnommen.

Göttingen, im Juni 1883.

Professor C. Flügge.





# INHALTSVERZEICHNISS.

Literatur . . . . .	Seite 5
Einleitung . . . . .	11

## ERSTER ABSCHNITT.

<b>Entwicklung der Lehre von den Fermenten und Mikroparasiten in den letzten Jahrzehnten . . . . .</b>	<b>13</b>
<i>I. Mikroorganismen als Erreger von Gährung und Fäulniss . . . . .</i>	<i>13</i>
1. Allmähliche Entwicklung der vitalistischen Lehre . . . . .	13
2. Einwände gegen die Grundlagen der vitalistischen Lehre . . . . .	22
<i>II. Mikroorganismen als parasitäre Krankheitserreger . . . . .</i>	<i>29</i>

## ZWEITER ABSCHNITT.

<b>Morphologie und Systematik der Mikroorganismen . . . . .</b>	<b>41</b>
<i>I. Mycetes, Pilze . . . . .</i>	<i>42</i>
A. Die eigentlichen Pilze, Fungi . . . . .	43
1. Hypodermii . . . . .	47
a) Ustilagineae, Brandpilze . . . . .	47
b) Protomycetes . . . . .	49
c) Entomophthoreae . . . . .	49
2. Phycomycetes . . . . .	51
d) Chytridiaceae . . . . .	51
e) Saprolegniaceae . . . . .	52
f) Peronosporae . . . . .	53
g) Mucorinae . . . . .	54
3. Ascomycetes . . . . .	56
h) Gymnoasci . . . . .	56
i) Perisporiaceae . . . . .	56
k) Tuberaeae . . . . .	62
l) Pyrenomycetes . . . . .	63
Anhang: Protoporenformen der Ascomyceten . . . . .	68
m) Discomycetes . . . . .	72
4. Basidiomycetes . . . . .	72
n) Uredineae . . . . .	72
o) Tremellini . . . . .	76
p) Hymenomycetes . . . . .	76
q) Gasteromycetes . . . . .	77
5. Myxomycetes . . . . .	77
Anhang: Sterile Myceliumformen . . . . .	78
B. Sprosspilze, Hefepilze (Saccharomyces, Cryptococcus) . . . . .	81
C. Spaltpilze, Schizomycetes . . . . .	87
<i>Uebersicht der Spaltpilz-Gattungen . . . . .</i>	<i>96</i>
I. Gattung, Micrococcus . . . . .	96
a) Zymogene Mikrokokken . . . . .	98
b) Pigmentbildende Mikrokokken . . . . .	99
c) Pathogene Mikrokokken . . . . .	100
II. Gattung, Ascococcus . . . . .	108
III. Gattung, Sarcina . . . . .	108
IV. Gattung, Clathrocystis (Cohnia) . . . . .	109
V. Gattung, Bacterium . . . . .	110
a) Zymogene Bakterien . . . . .	111
b) Pigmentbakterien . . . . .	113
c) Pathogene Bakterien . . . . .	114

	Seite
VI. Gattung, Bacillus . . . . .	116
a) Zymogene Bacillen . . . . .	116
b) Pigmentbildende Bacillen . . . . .	122
c) Pathogene Bacillen . . . . .	123
VII. Gattung, Leptothrix . . . . .	133
VIII. Gattung, Beggiatoa . . . . .	135
IX. Gattung, Spirillum (Vibrio) . . . . .	135
X. Gattung, Spirochaete . . . . .	138
XI. Gattung, Streptothrix und Cladothrix . . . . .	139
XII. Gattung, Myconostoc. Anhang . . . . .	140
II. Lichenes, Flechten . . . . .	142
III. Algae, Algen . . . . .	143
Neuere Systeme der Pilze . . . . .	148

### DRITTER ABSCHNITT.

<b>Biologie der Mikroorganismen . . . . .</b>	<b>153</b>
<b>I. Lebensbedingungen der niederen Pilze . . . . .</b>	<b>159</b>
a) Lebensbedingungen der Schimmelpilze . . . . .	159
1. Chemische Zusammensetzung der Schimmelpilze . . . . .	159
2. Die Nährstoffe der Schimmelpilze . . . . .	160
3. Sonstige Lebensbedingungen der Schimmelpilze . . . . .	167
4. Bedingungen der Sporenbildung und Sporenkeimung . . . . .	169
b) Lebensbedingungen der Sprosspilze . . . . .	170
1. Chemische Zusammensetzung der Sprosspilze . . . . .	170
2. Die Nährstoffe der Sprosspilze . . . . .	172
3. Sonstige Lebensbedingungen der Hefepilze . . . . .	174
4. Bedingungen der Sporenbildung und Sporenkeimung . . . . .	176
c) Lebensbedingungen der Spaltpilze . . . . .	177
1. Chemische Zusammensetzung der Spaltpilze . . . . .	177
2. Die Nährstoffe der Spaltpilze . . . . .	178
3. Sonstige Lebensbedingungen der Spaltpilze . . . . .	181
4. Bedingungen der Sporenbildung und Sporenkeimung . . . . .	183
<b>II. Lebensäusserungen der niederen Pilze . . . . .</b>	<b>184</b>
1. Uebersicht des Stoff- und Kraftwechsels der niederen Pilze . . . . .	185
2. Die Aufnahme und Assimilirung der Nährstoffe bei den niederen Pilzen . . . . .	189
3. Stoffumwandlungen und Kraftleistungen der niederen Pilze . . . . .	191
4. Die Stoffwechselproducte der niederen Pilze . . . . .	201
5. Die isolirbaren Fermente . . . . .	207
6. Die Gährungerregung . . . . .	214
A. Die alkoholische Gährung des Zuckers durch Hefe . . . . .	216
B. Gährungen durch Spaltpilze . . . . .	222
Vergährung der Kohlehydrate . . . . .	222
Vergährung der mehrwerthigen Alkohole . . . . .	224
Vergährung der Fettsäuren . . . . .	225
Die Fäulniss . . . . .	227
Die Oxydation des Alkohols zu Essigsäure . . . . .	233
Chemischer Vorgang und Theorie der Gährung . . . . .	235
7. Die Krankheitserregung . . . . .	241
a) Die Schimmelpilze als Krankheitserreger . . . . .	242
β) Die Sprosspilze als Krankheitserreger . . . . .	246
γ) Die Spaltpilze als Krankheitserreger . . . . .	247
<b>III. Absterbebedingungen der niederen Pilze; Desinfection . . . . .</b>	<b>261</b>
<b>IV. Constanz und Veränderlichkeit der Pilzarten . . . . .</b>	<b>270</b>

### VIERTER ABSCHNITT.

<b>Methoden zur Untersuchung der Mikroorganismen . . . . .</b>	<b>284</b>
<i>Die mikroskopische Untersuchung der niederen Pilze . . . . .</i>	<i>285</i>
<i>Die künstliche Cultur der niederen Pilze . . . . .</i>	<i>292</i>
<b>Register . . . . .</b>	<b>303</b>



# FERMENTE UND MIKROPARASITEN

VON

Dr. C. FLÜGGE IN GÖTTINGEN.



HERRN

OBERMEDICINALRATH PROFESSOR DOCTOR

JACOB HENLE,

DER MIT GENIALEM SCHARFBlick SCHON VOR 40 JAHREN DAS WESEN  
DER INFECTIONSKRANKHEITEN KLAR ERKANNT,

ZUM

50JÄHRIGEN DOCTORJUBILÄUM

GEWIDMET

IN GRÖSSTER EHRERBIETUNG

VOM VERFASSEN.

GÖTTINGEN, AM 4. APRIL 1882.







## Literatur.

Die ausserordentliche Fülle vorhandener Publicationen über Fermente und Mikroparasiten macht es unmöglich, hier ein vollständiges Literaturverzeichnis zu geben; es sind daher nur die bedeutenderen und für die weitere Orientirung besonders wichtigen Arbeiten zusammengestellt. — Betreffs der Publicationen über einige specielle Fragen sei ausserdem auf die Citate unter dem folgenden Text verwiesen.

*Lehr- und Handbücher, Uebersichten, Zeitschriften:* 1) Referate von Richter u. Birch-Hirschfeld in Schmidt's Jahrbüchern der ges. Medicin. 1873. Bd. 159, S. 169; 1875, Bd. 166, S. 169; Bd. 168, S. 57. — 2) Henle, Pathologische Untersuchungen. 1840. — Handbuch der rationellen Pathologie. 2. Bd. 2. Abtheilung. 1853. — 3) Lex in Roth u. Lex, Militärgesundheitspflege. I. S. 167 u. 480. — 4) Ziegler, Lehrb. der patholog. Anatomie. Jena 1881. S. 273. — 5) Virchow, Die Fortschritte der Kriegsheilkunde. Berlin 1874. — Krankheitswesen u. Krankheitsursachen. Virchow's Archiv. Bd. 79, S. 1 u. 185. — 6) Klebs, Beiträge zur Anatomie der Schusswunden. Leipzig 1872. — Artikel „Ansteckende Krankheiten“ in Eulenburg's Realencyclopädie. — 7) Billroth, Untersuchungen über die Vegetationsformen d. *Coccobacteriya septica*. Berlin 1874. — 8) Nägeli, Die niederen Pilze. München 1877. — 9) Buchner, Die Nägeli'sche Theorie. Leipzig 1877. — 10) Wernich, Die Entwicklung der organisirten Krankheitsgifte. Berlin 1880. — Grundriss der Desinfectionslehre. Wien und Leipzig 1880. — 11) Hallier, Die pflanzlichen Parasiten. Leipzig 1866. — Parasitologische Unters. Leipz. 1868. — Phytopathologie, ib. 1868. — 12) Hiller, D. Lehrv. d. Fäulniss. Berlin 1879. — 13) Schützenberger, Die Gährungserscheinungen. 1874. — 14) A. Mayer, Lehrb. d. Gährungsschemie. 2. Aufl. 1876.

*Botanische Handbücher:* 15) Leunis, Synopsis der Pflanzenkunde; dritte Abtheilung, Kryptogamen, bearbeitet von Frank. Hannover 1877. — 16) Rabenhorst's Kryptogamenflora. 1. Bd., Pilze, von Winter. 1. Lieferung. Leipzig 1881. — 17) Eidam, Der gegenwärtige Standpunkt der Mykologie. 2. Aufl. Berlin 1872. — 18) de Bary, Morphologie u. Physiologie der Pilze etc. 2. Bd. 1. Abth. von Hofmeister's Handbuch der physiologischen Botanik. Leipzig 1866. — 19) Bail, Die wichtigsten Sätze der neueren Mykologie. Jena 1861. — 20) Bonorden, Handbuch der allgemeinen Mykologie. 1851. — 21) Sachs, Lehrbuch der Botanik. 4. Aufl. Leipzig 1874. — 22) Pfeffer, Pflanzenphysiologie, ein Handbuch etc. 2 Bände. Leipzig 1881.

*Periodische Schriften:* 23) Cohn, Beiträge zur Biologie der Pflanzen. I. Band, 1875; II. Band 1877; III. Bd. 1879—80. — 24) Brefeld, Botanische Untersuchungen über Schimmelpilze. 1. Heft 1872, 2. Heft 1874, 3. Heft 1877, 4. Heft 1881. — 25) de Bary u. Woronin, Beitr. zur Morphol. u. Phys. der Pilze. Frankfurt a. M. 1864, 1866, 1870. — 26) Hoffmann, Mykologische Berichte. Giessen 1870—1872. — 27) Mittheilungen aus dem Kaiserl. Gesundheitsamte, herausgeg. von Dr. Struck. 1. Band. Berlin 1881. Ferner zahlreiche Publicationen in Klebs' Archiv für experimentelle Pathologie. Band 1—14, 1874—1882; Virchow's Archiv für pathologische Anatomie, nam. Bd. 70—86, 1877—1881; Comptes rendus hebdom. des séances de l'Acad. des sciences, nam. Band 44 u. 45 (1857) bis Bd. 92 u. 93 (1881); Lancet 1867 u. folg. Jahrgg. (Lister's Methode).

*Ueber Gährung und Fäulniss.* Allgemeines: 28) Braconnot, Annal. de Chim. et Phys. Bd. 47. 59. — 29) Schubert, Poggendorf's Annalen. Bd. 69, S. 157. Bd. 77, S. 197. — 30) Berzelius, Lehrbuch der Chemie. Bd. 8, S. 84; Jahresberichte 1839,

S. 401; 1840, S. 558. — 31) Schönbein, Journ. f. prakt. Chemie. Bd. 63, S. 323. Bd. 89, S. 323. — Verh. d. Baseler naturf. Ges. Bd. IV, S. 797; Bd. V, S. 1—15. — Ztschr. f. Biol. 1, S. 273; Bd. 3, S. 140; Bd. 4, S. 367. — 32) Mitscherlich, Monatsbericht d. Berl. Akademie d. Wissensch. Dec. 1841. S. 392. — Poggendorfs Annalen. 1842. Bd. 55, S. 225; ferner 1843, Bd. 59, S. 97. — 33) Liebig, Verh. der Münchener Akademie d. Wissensch. v. 9. Mai 1861 u. 5. Nov. 1869. — Annalen der Pharmacie. Bd. 30, S. 250. — Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie. Braunschweig 1846. S. 374—584. Ueber Gährung, Quelle der Muskelkraft und Ernährung. Leipzig u. Heidelberg 1870. — 34) Pasteur, Etude sur la bière. 1876. — Annal. de chim. et de phys. 1860. III. sér. Bd. 58, p. 346. — 1862, Bd. 64. — Compt. rendus 1857, Bd. 45; 1861, Bd. 52; 1863, Bd. 56; 1864, Jan.; 1871, Dec.; 1872, Bd. 75; ff. — 35) Traube, Chem. Ber. 8, S. 776. — Poggendorfs Annalen. 1858. Bd. 103, S. 331. — Theorie der Fermentwirkungen. Berlin 1858. — 36) Dumas, Compt. rend. 1872. Bd. 75. No. 6. p. 277—295. — 37) Helmholtz, Müller's Arch. 1843. S. 453. — Journal für praktische Chemie. Bd. 31, S. 429. — 38) Turpin, Compt. rend. Bd. 7, 1838. — Annalen der Chemie und Pharmacie. 1839. Bd. 23, S. 100. — 39) Lüdersdorff, Poggendorfs Annalen. Bd. 67, S. 408. — 40) C. Schmidt, Annalen der Chemie und Pharm. Bd. 61, S. 168. — 41) Blondeau, Journ. de Pharm. 1846. Bd. 12, p. 244 u. 336. — 42) Wagner, Journ. f. prakt. Chemie. Bd. 45, S. 241. — 43) Berthelot, Compt. rend. 1857. Bd. 44, p. 702. — 44) Hofmann, Aerztl. Verein z. Wien. 7. Mai 1873, Allg. medic. Centralztg. 1873. S. 605. — 45) Duclaux, Thèses présentées à la faculté de Paris 1865. — 46) Dubrunfaut, Compt. rend. 1871. Bd. 73. p. 200, 263 u. 317. — 47) Lex, Centralbl. f. d. med. Wissensch. 1872. S. 291. — 48) Panum, Nord. med. Ark. 10. S. 4. — 49) Mosler, Mykologische Studien am Hühnerei. Virch. Arch. 29. S. 510. — 50) Hüfner, Journ. f. prakt. Chemie. N. F. 10. S. 148. — 51) Colin, Annal. d. Chim. et Phys. 28, p. 128; 30, p. 42. — 52) Hoppe-Seyler, Arch. f. Phys. 12. — Medic.-chem. Unters. 1871. H. 4. — 53) Fleck, Ber. der chem. Centralst. Dresden 1876. — 54) Karsten, Chemismus der Pflanzenzelle. Wien 1869. — 55) Hallier, Gährungserscheinungen. Leipzig 1867. — 56) Schützenberger, Die Gährungserscheinungen. 1874. — 57) A. Mayer, Lehrbuch der Gährungschemie. 2. Aufl. 1876. — 58) Harz, Grundzüge d. alkoholischen Gährungslehre. München 1877. — 59) Nägeli, Theorie der Gährung. 1879. — 60) Brefeld, Landwirthsch. Jahresber. 1874. Bd. 3, S. 1; 1875. Bd. 4, S. 405; 1876 Bd. 5, S. 306. — 61) Fitz, Berichte d. chem. Ges. 1873. Bd. 6, S. 48; 1878. Bd. 10, S. 276; 1879. Bd. 11, S. 42 u. 498; Bd. 12, S. 474; 1880. Bd. 13, S. 1309. — 62) Prazmowski, Unters. üb. d. Entwicklungsgeschichte einiger Bacterien. Leipzig 1880.

*Ueber Hefe:* 63) Cagniard-Latour, Mémoire sur la fermentation vineuse. Ann. de chim. et de phys. 2. sér. T. 68. p. 206. — 64) Schwann, Annal. d. Phys. u. Chem. 1837. Bd. 41, S. 184. — 65) Kützing, Journ. f. prakt. Chemie. Bd. 11, S. 385. — 66) Rees, Botanische Untersuchungen üb. die Alkoholgährungspilze. Leipz. 1870. — Sitz.-Ber. d. phys.-med. Societät zu Erlangen. 1877. Juli. — 67) Bonorden, Abh. der naturf. Ges. zu Halle 1864. — 68) Hoffmann, Botan. Untersuchungen, herausgegeben von Karsten. 1867. Bd. I. — 69) de Bary, Beitr. z. Morph. und Phys. der Pilze. Frankf. 1864. — 70) Bail, J. f. prakt. Chemie. 101. S. 47. — Flora 1857. — 71) Fitz, Ber. d. chem. Ges. Bd. 6. 1873. — 72) Cienkowski, Mélanges biologiques tirés du bulletin de l'ac. imp. des sc. de St. Pétersbourg. Bd. 8. — 73) Grawitz, Virch. Arch. Bd. 70. S. 557. — 74) Nägeli, Theorie der Gährung. München 1879. — 75) Schützenberger, Unters. über die Bierhefe. Ber. d. chem. Ges. 27. S. 192. — Compt. rend. 1879. p. 383.

*Harngährung:* 76) van Tieghem, Compt. rend. 58. 1864, p. 210. — 77) Feltz und Ritter, Journ. de l'Anat. et Phys. 1874. — 78) Pasteur, Annal. de chim. et de Phys. Bd. 64. 1862. — Bull. de l'Acad. de méd. 1876. No. 27. — 79) Colin, Bull. de l'Acad. de méd. 1875. — 80) Musculus, Ber. d. chem. Ges. 1874. S. 124. — Arch. für Phys. 12. S. 214. — 81) Miller, Centrbl. f. die med. Wissensch. 1874. S. 53. — 82) Béchamp, Compt. rend. 60. p. 445. — 83) Dubelt, Arch. f. exp. Path. 5. S. 195. — 84) Partens u. Joubert, Ber. d. chem. Ges. 9. S. 1130.

*Generatio aequivoca und Panspermie:* 85) F. Schulze, Gilbert's Annal. d. Physik u. Chemie. 1836. Bd. 39, S. 487. — 86) Ehrenberg, Abhandlungen der Königl. Akad. d. Wissensch. zu Berlin. Jahrg. 1830, 1832, 1834—1835. Uebersicht der seit 1847 fortgesetzten Untersuchungen über das von der Atmosphäre unsichtbar getragene reiche organische Leben. Aus den Abhdl. d. Kgl. Akad. d. Wissensch. zu



Berlin 1871, C. Vogt. — 87) Schwann, Gilbert's Annalen d. Physik u. Chemie. 1837. Bd. 41, S. 184. — 88) Schröder u. v. Dusch, Annalen d. Chemie u. Pharm. 1854. Bd. 89, S. 232—243; 1859. Bd. 109, S. 35—52; 1861. Bd. 117, S. 273—294. — 89) Pasteur, Annales de chim. et de phys. 1862. Bd. 64, S. 1—110. — 90) Cohn, Vortrag, geh. a. der 47. Versammlung deutsch. Naturf. u. Aerzte zu Breslau, 24. Sept. 1874. — 91) Pouchet, Hétérogénie ou traité de la génération spontanée. Paris 1859. — 92) Huizinga, Pflüger's Arch. f. Phys. 7, S. 549; 8, S. 277, 551; 10, S. 62. — 93) Bastian, Centralbl. f. d. med. Wissensch. 1876. S. 521. — Compt. rend. Bd. 83. No. 8. 94) Gscheidlen u. Putzeys, Pflüger's Arch. 1874. Bd. 9, S. 163—174. — 95) Samuelson, Pflüger's Arch. Bd. 8, S. 277—288. — 96) Burdon-Sanderson, Nature, Bd. 8, p. 478. — 97) Crivelli e Maggi, Estratto d. Rendiconti del Reale Ist. Lombardo, ser. 2. Bd. 1, 2, 3. Milano 1868—70.

*Präexistenz von Keimen in lebenden Geweben:* 98) van den Broek, Ann. f. Chem. u. Pharm. 1860. S. 115, 175. — 99) Pasteur, Compt. rend. 56. p. 738. 1194. 1863. — Bull. de l'acad. de méd. 1875. — Etudes sur la bière 1876. p. 46. — 100) Gayon, Recherches sur les altérations spontanées des oeufs. Paris 1875. p. 45. — Compt. rend. 1873. Jan. — 101) Lüders, Arch. f. mikr. Anat. 8, S. 317. 1867. — 102) Hensen, Ibid. S. 342. — 103) Rindfleisch, Virch. Arch. 54, S. 397. 1872. — 104) Chauveau, Compt. rend. 76, p. 1092 1873. — 105) Paschutin, Virch. Arch. 59, S. 490. 1874. — 106) Kolaczek, Centralbl. f. Chirurg. 1875. S. 197. — 107) Tiegel, Virch. Arch. 60, S. 453. 1874. — 108) Billroth, Coccobact. sept. S. 59. — 109) Koukol-Yasnopolski, Pflüger's Arch. 12, S. 80. 1876. — 110) Serval, Compt. rend. 79, p. 1270. 1874. — 111) Burdon-Sanderson, Thirteenth report of the Medical offic. of the Priv. Counc. p. 65. — The British Medical Journ. 1878. p. 119. — 112) Nencki und Giacomini, Journ. für pract. Chemie. N. F. Bd. 19 u. 20. — 113) Roberts, Philosophic. Transactions 1874. p. 457. — 114) Cazeneuve und Livon, Compt. rend. 85, p. 571, 1877. — 115) Billroth, Arch. f. klin. Chir. 20, S. 432. 1877. — 116) Lister, Journ. of Microsp. Sc. 1878. p. 179. — 117) Chiene und Cossar Ewerts, Journ. of Anat. a. Phys. 1878. April. S. 448. — Vorstehende Literatur citirt in: 118) Rosenbach, Ueber einige fundamentale Fragen in der Lehre von den chirurgischen Infektionskrankheiten. Deutsche Zeitschr. f. Chirurgie. Bd. 13, S. 334. 1880. Dasselbst findet sich ein ausführliches Referat der Meissner'schen Versuche.

*Einfluss des Sauerstoffs:* 119) Pasteur. Compt. rend. 52, p. 340, 1260. — 75, p. 784. — 56, p. 416. 1189. — 80, p. 452. — 120) Liebig, Annal. d. Chem. u. Pharm. 1870. Bd. 153, S. 1. — 121) Schützenberger u. Quinquaud, Compt. rend. 77, p. 272. — 122) A. Mayer, Landw. Versuchsstat. 1873. Bd. 16, S. 290. — 1880. Bd. 25, S. 301. — Poggendorff's Annalen 1871. S. 293. — Ztschr. f. Biol. Bd. 5, S. 311. — 123) Müntz, Annal. de Chim. et de Phys. 1876. Bd. 8, S. 88. — 124) Brefeld, Landwirthsch. Jahresber. 1874. Bd. 3, S. 32. — 1876. Bd. 5, S. 293. — Verh. d. Würzburger physik.-med. Ges. 1873, S. 163. — 125) Hüfner, Journ. f. prakt. Chemie. 1876. Bd. 13, S. 475. — 126) Paschutin, Virch. Arch. 59, S. 890. — 127) Grossmann und Mayershausen, Arch. f. Phys. 1877. Bd. 15, S. 245. — 128) Gunning, Chem. Centralbl. 1878. S. 799. — 1880. S. 9. — Ibid. 20, S. 418. — 129) Traube, Ber. d. chem. Ges. 1874. S. 875. — 130) Nencki, Beiträge z. Biologie d. Spaltpilze. 1880. S. 3. — Journ. f. prakt. Chemie. 19, S. 337. — Ueb. die Zersetzung der Gelatine etc. Bern 1876. — 131) Lechartier et Bellamy, De la fermentation des fruits. Compt. rend. 81, p. 1127. — 132) Popoff, Pflüger's Arch. f. Phys. 10, S. 135. — 133) Jeanneret, Journ. f. prakt. Chemie. N. F. 15, S. 353.

*Nicht organisirte Fermente:* 134) Baranetzky, Die stärkeumbildenden Fermente 1878. — 135) Krauch, Landwirthsch. Versuchsstation 1879. Bd. 23, S. 77. — 136) Schützenberger, Die Gährungserscheinungen 1876. — 137) A. Mayer, Landw. Versuchsstat. 1871. Bd. 14, S. 72. — 138) Gayon, Compt. rend. 1878. Bd. 86, S. 52. — 139) Donath, Ber. d. chem. Ges. 1875. S. 286. — 140) Barth, Ibid. 1878. S. 474. — 141) Nägeli, Sitzungsber. d. Bayer. Akad. d. Wissensch. 1878. H. 2, S. 177. — 142) Berthelot, Compt. rend. 50, p. 890. — 143) Hoppe-Seyler, Ber. d. chem. Ges. 4, S. 810. — Arch. f. Phys. Bd. 12. — 144) v. Gorup-Besanez, Ber. d. chem. Ges. 1874. Bd. 7, S. 1478. 1875. Bd. 8, S. 1510. — 145) A. Schmidt, Ueber Emulsie etc. Diss. Tübingen 1871. — 146) v. d. Horst, Chem. Centralbl. 1878. S. 279. — 147) Krukenberg, Untersuchungen des physiologischen Instituts zu Heidelberg. 2. S. 273. — 148) Wurtz und Bouchut, Compt. rend. 89, p. 425. 90, p. 1379. — 149) Bouchut, Compt. rend. 91, p. 67. — 150) Kühne, Untersuchungen aus dem

phys. Institut zu Heidelberg. Bd. 1. — Centralbl. f. d. med. Wissensch. 1878. S. 357. — 151) v. Nencki, Berichte d. chem. Ges. 9, S. 295.

*Mikroorganismen als Krankheitserreger:* Allgemeines: Die oben cit. Werke von Cohn, Nägeli, Billroth, Klebs, Wernich; ferner 152) Koch, Cohn's Beitr. z. Biologie der Pflanzen. 2. Bd. 2. u. 3. Heft. — Untersuchungen über die Aetiologie der Wundinfectionskrankheiten. Leipzig 1878. — Mittheilungen aus dem Kaiserlichen Gesundheitsamt, Bd. 1. Berlin 1881. — 153) Bollinger u. A., Zur Aetiologie der Infectionskrankheiten, Vorträge, gehalten im ärztl. Verein zu München. 1881. — Von älteren Schriften seien erwähnt: 154) Hallier, Centralbl. f. d. med. Wiss. 1867. 30. — Parasitologische Untersuchungen 1868. — Zeitschrift für Parasitenkunde. Bd. 1 u. 2. — 155) Salisbury, Americ. Journ. of Med. Sc. 1861. 1866. — 156) Klob, Pathol.-anat. Studien über das Wesen des Choleraeprocesses. 1867. — 157) Thomé, Virchow's Archiv. Bd. 38. S. 221. — 158) de Bary, Virchow-Hirsch's Jahresberichte 1867. II. — 159) Hoffmann, Botan. Zeitung 1863. 1869. — 160) Lemaire, Compt. rend. Bd. 58. — Gaz. méd. de Paris 1868. — 161) Coze und Feltz, Gaz. méd. de Strassbourg 1866. — 162) Bettelheim, Wiener med. Presse 1868. — 163) Béchamp, Compt. rend. Bd. 67. — 164) Hueter, Centralbl. f. d. med. Wiss. 1868.

*Krankheitserregung bei Pflanzen und Insekten:* 165) Kühn, Die Krankheiten der Culturgewächse. Berlin 1858. — 166) de Bary, Rech. sur le développement de quelques champignons parasites. Ann. des sc. nat. 4. sér. II. 1865. — 167) de Bary und Woronin, Beiträge zur Morph. und Phys. der Pilze. III. Frankfurt 1870. — 168) de Bary, Die gegenwärtig herrschende Kartoffelkrankheit. Leipzig 1861. — 169) Willkomm, Die mikroskopischen Feinde d. Waldes. Dresden 1866. — 170) Robin, Histoire naturelle des végétaux, qui croissent sur l'homme et les animaux vivans. Paris 1848. 1853.

*Brand- und Rostpilze:* 171) Tulasne, Mémoire sur les Ustilagin. compar. aux Uredin. Annal. des sc. natur. 3. sér. Bd. 7. 1847. — Second Mém. sur les Ured. et les Ustilag. Ibid. 4. sér. Bd. 2. 1854. — Mém. sur l'Ergot. Ibid. Bd. 20. — 172) de Bary, Untersuchungen über die Brandpilze 1853. — Untersuchungen über Uredineen. Monatsber. d. Kön. Akad. d. Wiss. zu Berlin 1864—66. — Annal. d. Landwirtschaft. 23. Jahrg. 1865. — 173) Hoffmann, Botanische Untersuchungen, herausgeg. von Karsten 1866. — 174) Fischer v. Waldheim, Jahrb. f. wiss. Botanik von Pringsheim. Bd. 7. 1869. — 175) Rees, Die Rostpilzformen der deutschen Coniferen. Halle 1869. —

*Krankheiten von Raupen (besonders Seidenraupen):* 176) Bassi, Del mal del segno, calcinaccio o moscardino, Sec. ed. Milano 1837. — 177) Vittadini, Della natura de calcino, Giorn. Istit. Lombard. Bd. 3. — 178) de Bary, Zur Kenntniss insectentödtender Pilze. Bot. Ztg. 1867. 1869. — 179) Robin, l. c. (170). — 180) Bail, Ueber Pilzepizootien der forstverheerenden Raupen. Danzig 1869. — Bot. Ztg. 1869. — 181) Pasteur, Compt. rend. Bd. 66, S. 1289 u. ff. Jahrgänge. — 182) Cohn, Beiträge zur Biologie d. Pflanzen. I. 2, 166; 3, 201. — 183) Lebert, Jahresb. d. Ver. zur Beförd. des Seidenbaus für die Prov. Brandenburg 1856—57.

*Fliegenkrankheiten:* 184) Göthe, Hefte zur Morphologie. I. 292. — 185) Nees v. Esenbeck, Nov. Act. Acad. Caes. Leop. Car. Nat. Cur. Bd. 15. 1831. — 186) Cohn, Empusa muscae u. d. Krankh. der Stubenfliege. Breslau 1865. — 187) Lebert, Abh. d. naturforsch. Ges. in Zürich. 1856. — 188) Fresenius, Abh. d. Senckendorff'schen naturf. Ges. Bd. 2, S. 201. — 189) Brefeld, Unters. über die Entw. d. Emp. muscae u. Emp. radicans. Halle 1871. — 190) Peyritsch, Sitzungsber. der k. k. Akad. der Wiss. in Wien. Bd. 64. 1871.

*Specielle Krankheiten des Menschen und der höheren Thiere; Schimmel- und Hefepilze:* 191) Friedreich, Virchow's Arch. Bd. 11. — 192) Cohnheim, Ibid. Bd. 33. — 193) Fürbringer, Ibid. Bd. 76. — 194) Rosenstein, Berl. klin. Woch. 1867. — 195) Wagner, Jahrb. f. Kinderheilkunde. 1868. — 196) Zenker, Jahresber. der Ges. f. Natur- u. Heilk. in Dresden 1861/62. — 197) Grohe, Berl. klin. Woch. 1871. — 198) Block, Ueber Pilzbildung in thierischen Geweben. Diss. Stettin. 1871. — 199) Leber, Aertztl. Intelligenzbl. 28. Jahrg. No. 7. — 200) Bezold, In den sub(153) citirten Vorträgen. — 201) Kitt, D. Zeitschr. f. Thiermedizin. Bd. 7. — 202) Grauwitz, Virchow's Archiv Bd. 70, 1877; Bd. 81, 1880. — Berl. klin. Woch. 1881. No. 45 u. 46. — 203) Krannhals, St. Petersburg. med. Woch. 1881. — 204) Gaffky, Mittheilungen des Kais. Ges.-Amts. 1. Bd. S. 80. — 205) Löffler, Ibid. S. 134. — 206) Koch, Berl. klin. Woch. 1881. No. 52.

*Wundinfektionskrankheiten (Septicämie, Pyämie):* 207) Koch, Wundinfektionskrankheiten. Leipzig 1878. — Mittheil. d. Kais. Ges.-Amts. Bd. I. — 208) Wolff, Virchow's Arch. Bd. 81. — 209) Perret, De la septicémie. Paris 1880. — 210) Semmer, Virch. Arch. Bd. 83. — 211) Rindfleisch, Lehrb. der pathol. Gewebelehre. 1. Aufl. 1866. S. 204. — 212) v. Recklinghausen, Verh. der Würzb. phys.-med. Ges. 1871. — 213) Klebs, Beitr. zur pathol. Anat. der Schusswunden. Leipzig 1872. — 214) Birch-Hirschfeld, Untersuchungen über Pyämie. Leipzig 1873. — Referat in Schmidt's Jahrb. Bd. 166, S. 169, über die ges. einschlägige Literatur aus den Jahren 1872–74. — 215) Virchow, Embolie u. Infection. Gesamm. Abhandl. 1857. S. 656. — 216) Stich, Charité-Annal. 1852. — 217) Weber, Deutsche Klinik 1864, 65. — 218) Billroth, Arch. f. klin. Chir. Bd. 6, 265. — 219) Billroth u. Ehrlich, Arch. f. klin. Chir. Bd. 20. 1876. — Coccobacteria sept. (7). — 220) Fischer, Ctrbl. f. d. med. Wissensch. 1868. — 221) Ravitsch, Zur Lehre von der putriden Infection etc. Berlin 1872. — 222) Tiegel, Ueber die fiebererregenden Eigenschaften des Microsporion septicum. Bern 1871. Diss. — 223) Zahn, Zur Lehre von der Entzünd. etc. Heidelberg 1872. — 224) Heiberg, Die puerperalen u. pyämischen Prozesse. Leipzig 1873. — 225) Orth, Virch. Arch. Bd. 59. 1874. — 226) Coze u. Feltz, Recherches expérimentales etc. Strassbourg 1866. — 227) Lacassagne, De la putridité morbide et de la septicémie. Paris 1872. — 228) Davaine, Bouley, Béhier, Vulpian, Colin, Hayem, Bull. de l'Acad. 2. sér. I. u. II. 1872–1873. — 229) Nassiloff, Virch. Arch. Bd. 50. — 230) Eberth, Zur Kenntniss der bacterischen [Mykosen]. Leipzig 1872. — Med. Centralbl. Bd. 11, S. 8. 32. — 231) Leber, Med. Ctrbl. Bd. 11. 1873. S. 9. — 232) Heiberg, Med. Ctrbl. Bd. 12. 1874. S. 36. — 233) Frisch, Experimentelle Studien über die Verbreitung der Fäulnisorganismen etc. Erlangen 1874. — 234) Hemmer, Exp. Studien über d. Wirkung faulender Stoffe. München 1866. — 235) Schweninger, Ueber d. Wirk. faulender org. Subst. etc. München 1866. — 236) v. Raison, Zur Kenntniss der putriden Intoxication etc. Diss. Dorpat 1866. — 237) Frese, Weidenbaum, Schmitz, Peterssen, Schmidt, v. Brehm, Dissertationen über das putride Gift etc. Dorpat 1866–1872. — 238) Bergmann, Das putride Gift etc. Bd. I. Dorpat 1866. — Deutsche Zeitschr. f. Chirurg. I. S. 376. — 239) Bergmann u. Schmiedeberg, Med. Centralbl. 1868. S. 397. — 240) Zülzer u. Sonnenschein, Berl. klin. Woch. 1869. — 241) Panum, Virchow's Arch. Bd. 60. 1874. S. 328. — 242) Hiller, Centralbl. f. Chirurgie 1876. — Die Lehre von der Fäulniss. Berlin 1879.

*Erysipel:* 243) Nepveu, Gaz. méd. de Paris 1872. — 244) Orth, Arch. f. exp. Path. Bd. 1. 1874. — 245) Lukomsky, Virch. Arch. Bd. 60. — 246) Klebs, Arch. f. exp. Path. Bd. 4. — 247) Tillmanns, Arch. f. klin. Chir. Bd. 23. — Wolff, Virch. Arch. Bd. 81.

*Diphtherie:* 248) Oertel, Dieses Handbuch. Bd. II. — Deutsch. Arch. für klin. Med. Bd. 8. 1871. — 249) Hueter und Tommasi, Medic. Centralbl. 1868. — 250) Klebs, Arch. f. experim. Path. Bd. 4. — 251) Eberth (230).

*Milzbrand:* 252) Bollinger, Dieses Handbuch, Bd. 3. — 253) Pollender, Viertelj. f. ger. Med. Bd. 8. 1855. — 254) Brauell, Virch. Arch. Bd. 14. 1858. — 255) Davaine, Compt. rend. Bd. 57. 1863; Bd. 77. 1873. — 256) Pasteur, Bull. de l'Acad. de Méd. 1877; Compt. rend. Bd. 92. 1881; Gaz. méd. 1879. No. 10; Bull. de l'Acad. 1880. 28. — 257) Koch, Cohn's Beiträge zur Biologie d. Pflanzen. S. 277. — Mittheil. d. Kais. Ges.-Amts. I. Bd. S. 49. — 258) Toussaint, Recherches expérimentales sur la maladie charbonneuse. Paris 1879. — 259) Huber, Deutsche med. Wochenschr. 1881, Febr. — 260) Buchner, Ueber d. experim. Erzeugung des Milzbrandcontagiums aus den Heupilzen. München 1880.

*Lepra:* 261) Armauer Hansen, Virch. Arch. Bd. 79. — 262) Neisser, Bresl. ärztl. Zeitschr. 1879. — Virch. Arch. Bd. 84. 1881. S. 514.

*Malaria:* 263) Klebs u. Tommasi-Crudeli, Archiv f. experim. Pathologie. Bd. 11, S. 122, 311.

*Recurrentes:* 264) Obermeier, Med. Centralbl. 1873. 10. — Berl. klin. Woch. 1873. 33. — 265) Weigert, D. med. Wochenschr. 1876. — 266) Heidenreich, Der Parasit des Rückfalltyphus. Berlin 1877. — St. Petersburg. med. Woch. 1876. 1. — 267) Moczutowsky, D. Arch. f. klin. Med. Bd. 24. — 268) Albrecht, St. Petersburg. med. Woch. 1879. 1. — 269) Carter, D. med. Woch. 1879. 16.

*Endocarditis:* 270) Maier, Virch. Arch. Bd. 62. — 271) Eberth, Ibid. Bd. 57. — 272) Köster, Ibid. Bd. 72. — 273) Klebs, Arch. f. exp. Path. Bd. 9.



*Variola Vaccinae*: 274) Keber, Virch. Arch. Bd. 42. — Cohn, Virch. Arch. Bd. 55. 1872. — 275) Zülzer, Berl. klin. Woch. 1872. — 276) Weigert, Med. Centralbl. 1871. — Anatom. Beiträge zur Lehre von d. Pocken. 1874. — 277) Chauveau, Compt. rend. Bd. 66. — 278) Klebs, Arch. f. exp. Path. Bd. 10.

*Typhus*: 279) Letzerich, Arch. f. exp. Pathol. Bd. 9. — 280) Eberth, Virch. Arch. Bd. 81. — 281) Klebs, Arch. f. experim. Path. Bd. 12. 1880. — 282) Tizzoni, Studi etc. sulla genesi del tifo etc. Milano 1880.

*Desinfection*: 283) Koch, Wolffhügel, Gaffky, Löffler, Hüppe in den Mittheilungen aus dem Kais. Ges.-Amt, Bd. I, S. 188 ff. — 284) Koch, Cohn's Beitr. z. Biol. d. Pflanzen. Bd. 2. Heft 2. — 285) Wernich, Grundriss der Desinfectionslehre. Wien u. Leipzig 1880. — Med. Centralbl. 1879. — Virch. Arch. Bd. 78, 79. — D. med. Woch. 1880. No. 11. — 286) Nägeli, Die niederen Pilze. München 1877. — 287) Lex, Roth und Lex, Militärgesundheitspflege; Viertelj. f. öff. Ges. Bd. 4. — 288) Schröter, Cohn's Beitr. z. Biol. d. Pflanzen. Bd. 1. Heft 3. — 289) Eidam, Ibid. S. 208. — 290) Bucholtz, Arch. f. exp. Path. Bd. 4. — 291) Werncke, Dissert. Dorpat 1879. — 292) Schotte u. Gärtner, Viertelj. f. öff. Ges. 12. 337. — 293) Salkowski, Viertelj. f. ger. Med. 23. 375. — 294) Mehlhausen, Ber. d. Chol.-Comm. für das deutsche Reich. Bd. 4. 341. — 295) Neubauer und Kolbe, Journ. f. prakt. Chemie. N. F. Bd. 11. — 296) Fleck, Benzoësäure etc. München 1875. — 297) Baierlacher, Aerztl. Intelligenzbl. 1876. — 298) Camerer, Württemb. med. Corr.-Bl. 1875. — 299) Vojda u. Heymann, Wien. med. Presse 1875. 6. — 300) Kletzinsky, Wien. med. Woch. 1866. 60. — 301) Eulenberg, Berl. klin. Woch. 1866. 39. — 302) Eulenberg u. Vohl, Viertelj. f. ger. Med. 1870. — 303) Fischer, Artikel „Desinfection“ im Neuen Handwörterbuch der Chemie. — 304) Frankland, Proc. of the Roy. Soc. 25. 542. — 305) Soyka, Ber. d. Bayer. Akad. d. Wissensch. 1879. Mai. — 306) Nägeli, Ibid. Juni. — 307) Smith, Disinfectants etc. Edinb. 1869. — 308) Davaine, Compt. rend. Bd. 72. — 309) Letheby, Publ. Health. Bd. 2. — Med. Tim. and Gaz. Bd. 2. 487. — Glasgow Med. Journ. Bd. 5. — 310) Dougall, Publ. Health. Bd. 3. 277. — 311) Baxter, Ibid. Bd. 6. 301. — 312) Kramers, Ibid. Bd. 7. 37. — 313) Adams, Brit. med. Journ. 1873. — 314) Mansfield, Philad. med. and surg. Rep. Bd. 36. — 315) Bartlett, Sanit. Rec. Bd. 3. — 316) Wanklyn, Brit. med. Journ. 1873. 275. — Pharm. Journ. and Transact. Bd. 39. 205. — 317) Crace-Calvert, Med. Tim. and Gaz. 1872. — 318) Lane Notter, Lancet 1879. — The Dublin Journ. 1879. — 319) Bond, Arch. méd. Belg. Bd. 7. — 320) Wurtz u. Devergie, Bull. de l'Acad. 1871. — 321) Faye, Compt. rend. Bd. 71. — 322) Bédoin, Ibid. Bd. 82. — 323) Tedesco, Arch. méd. Belg. 1875. — 324) Richardson, Viertelj. f. öff. Ges. 1870. 149. — 325) Toussaint, Bull. de l'Acad. 1880. — 326) Tyndall, Philos. Transact. of the Roy. Soc. 1877. — 327) Vallin, Ann. d'hyg. 1877. — 328) Hornemann, Hygiejnske Mededelser, NyRaekke. III. 1. — 329) Thor, Polyt. Centralbl. 1855. — 330) Fraser, Med. Tim. 1870. — 331) Oppert, Viertelj. f. öff. Ges. Bd. 5. — 332) Esse, Ibid. Bd. 3. — 333) Ransome, Brit. med. Journ. 1873. — 334) Petruschky, D. militärärztl. Zeitschr. 1873. 127. — 335) Steinberg, Kriegslazarethe etc. 1872. — 336) Than, Ann. d. Chem. Bd. 198. — 337) Mörschell, D. med. Woch. 1880. — 338) Merke, Virch. Arch. 1880. Bd. 81. — 339) Pasteur, Ann. d'hyg. 1880. — 340) Lassar, D. med. Woch. 1880. — Ueber die präcipitirenden Desinfectionsmittel etc. s. unter „Entfernung der Abfallstoffe“. Die ältere Literatur über Desinfection findet sich namentlich bei Fischer (303) und Wernich (285) zusammengestellt.

*Untersuchungsmethoden*: 341) Brefeld, Verh. d. phys.-med. Ges. in Würzburg. N. F. Band 8. 1875. S. 43. — Botanische Untersuchungen über Schimmelpilze. Heft 4. Leipzig 1881. — 342) Koch, Mittheilungen aus dem Kaiserl. Ges.-Amt. Bd. 1. S. 1. — Wundinfectionskrankheiten S. 29. — Cohn's Beiträge zur Biol. d. Pflanzen. Bd. 2. Heft 3. — 343) Weigert, Ber. über d. Sitz. der Schlesischen Ges. f. vaterl. Cultur. 1875. Dec. — Virch. Arch. Bd. 84. 1881. S. 275. — 344) Klebs, Arch. f. exp. Path. Bd. 1. S. 47. — Ferner zahlreiche Stellen in den Arbeiten von Cohn, Pasteur, Klebs u. A.; vgl. die Citate unter dem Text.

## Einleitung.

In der Aussenwelt, welche die alltägliche Umgebung des Menschen bildet und den Gegenstand der hygienischen Forschung ausmacht, findet der aufmerksame Beobachter in weitester Verbreitung Organismen, die an der Grenze der Sichtbarkeit stehen, selbst für das mit besten optischen Hilfsmitteln gerüstete Auge, die aber mit ihrer ungeahnt ausgedehnten, tief eingreifenden Thätigkeit eine hochwichtige Rolle im Haushalt der Natur und im Dasein des Menschen spielen. Sie bewirken die Zerstörung lebloser organischer Substanz, veranlassen die Oxydation sonst resistenter Stoffe und führen den chlorophyllhaltigen Pflanzen stets neues Nährmaterial zu; sie erregen die verschiedensten Gährungen und sind uns unersetzliche Hilfsmittel zur Bereitung unserer gewohnten Nahrungs- und Genussmittel; sie befallen andererseits unsere Culturgewächse als Parasiten, die ihren Wirthen Degeneration und Tod bringen; sie veranlassen gelegentlich schwerste Erkrankungen bei niederen und höheren Thieren, und selbst den Menschen bedrohen sie mit mörderischen Epidemien. In keinem Gebiete der Hygiene lässt sich ihr Einfluss vermissen; in der Luft, im Boden, im Wasser finden sich dieselben kleinsten Organismen, die wir in unserer nächsten Umgebung, in der Wohnung, in der Nahrung, als stete Begleiter und gelegentlich als gefährliche Feinde zu erkennen vermögen.

Die meisten dieser bedeutungsvollen kleinsten Lebewesen sind Pflanzen von elementarstem Bau und einfachstem Fortpflanzungsmodus, aber ausserordentlicher Vermehrungsfähigkeit; wenige werden den niedrigsten Thieren zugezählt; bei einigen bleibt es zweifelhaft, welchem Naturreich sie angehören. Je nach der Wirkungssphäre, auf welche das Augenmerk vorzugsweise gerichtet war, hat man für diese Organismen verschiedene Benennungen gewählt. Vom physiologisch-chemischen Standpunkte aus bezeichnet man sie gern als „organisirte Fermente“, vom speciell pathologischen Standpunkte als „pflanzliche Parasiten“. Beide Bezeichnungen decken sich jedoch nicht ganz mit der Gesammtheit der im hygienischen Interesse bedeutungsvollen kleinsten Lebewesen. Es giebt Mikroparasiten, welche keine fermentartige Wirkungen hervorzurufen im Stande sind; und andererseits existiren viele organisirte Fermente, welche bisher noch nicht als parasitäre Krankheitserreger erkannt

wurden. Vielen der letzteren kann freilich eine parasitäre Rolle nicht völlig abgesprochen werden, so lange unsere Kenntniss der speci- fischen Krankheitserreger sich noch auf einer so niederen Stufe be- findet; sie beanspruchen daher trotzdem fortdauernd das hygienische Interesse, und dies um so mehr, als sie ausserdem häufig umfang- reiche Zersetzungen todter organischer Massen veranlassen und dabei lästige oder schädliche Produkte bilden. — Als umfassendere Bezeich- nung hat man wohl auch den Namen „Mikroorganismen“ oder „Mikrobien“ gewählt; damit ist aber selbstverständlich der Rah- men des hygienischen Interesses weit überschritten.

Aufgabe des vorliegenden Abschnitts ist es nun, alle diejenigen Fermente und Mikroparasiten, welche in der menschlichen Umgebung verbreitet sind und direct oder indirect das hygienische Interesse er- wecken, unter einheitlichen Gesichtspunkten zusammenzustellen und ihre Formen und Wirkungen zu schildern. Da indessen die Bezie- hungen der einzelnen Theile der menschlichen Umgebung zu den Mikroorganismen — das Auftreten der letzteren in Luft, Boden, Wasser etc., das nähere Verhalten der eigentlichen Krankheitskeime — bereits in den speciellen Abschnitten dieses Handbuchs erörtert werden, so kann es sich hier nur um eine allgemeine Uebersicht handeln, welche vielfach detaillirtere Ausführungen vermissen lässt und betreffs dieser auf die Kapitel „Luft“, „Boden“, „Volkskrank- heiten“ u. s. w. als nothwendige Ergänzungen verweisen muss.

Der Plan der Darstellung umfasst zunächst einen kurzen histo- rischen Ueberblick über die Entwicklung der Lehre von den Fer- menten und Parasiten in den letzten Jahrzehnten. Daran schliesst sich zweitens eine Beschreibung der Form und Entwicklung der hygienisch wichtigeren Mikroorganismen, eine kurze Morphologie und Systematik derselben, deren Kenntniss die unerlässliche Vor- bedingung für jedes erfolgreiche Erforschen dieser schwer überseh- baren und schwer unterscheidbaren Lebewesen bildet. Drittens ist die Biologie der Mikroorganismen zu behandeln; die allgemeinen Lebensbedingungen derselben, ihre Lebensäusserungen und Wirkun- gen, die Vorgänge der Gährung und Fäulniss und die Krankheits- erregung, endlich die Bedingungen des Absterbens und die desinfici- renden, auf die Schwächung und Tödtung der Mikroorganismen ab- zielenden Mittel bilden den Inhalt dieses Capitels. Zum Schluss ist eine Uebersicht der Untersuchungsmethoden angefügt, welche sich bei der Durchforschung dieses schwierigsten Gebietes der Hygiene bewährt haben.

---



## ERSTER ABSCHNITT.

# Entwicklung der Lehre von den Fermenten und Mikroparasiten in den letzten Jahrzehnten.

Die erste sichere Beobachtung über die Existenz mikroskopisch kleiner lebender Wesen in unserer steten Umgebung rührt von EHRENBURG her, der im Wasser und im Staube zahlreiche Organismen fand und dieselben als „Infusionsthierchen“ bezeichnete (1828). Acht Jahre später entdeckten dann CAGNIARD-LATOUR und SCHWANN (63, 64)<sup>1)</sup> die pflanzliche Natur der Hefe, nachdem die Zellenform derselben schon viel früher (zuerst von LEEUWENHOEK 1680) gesehen und ihre organische resp. pflanzliche Beschaffenheit von mehreren Forschern vermuthet war (THÉNARD, PERSOON). Von SCHWANN wurde weiter bereits im Jahre 1837 die stete Beladung der atmosphärischen Luft mit Gährungs- und Fäulniskeimen, sowie das Abhängigkeitsverhältniss gewisser Gährungsprocesse von dem Zutritt lebender Gährungskeime durch Experimente behauptet (87).

Von da ab beginnt das dauernde rege Interesse für die Mikroorganismen, und zwar äussert sich dasselbe vorzugsweise nach zwei verschiedenen Richtungen hin: theils galt es fortan, die Beziehungen zwischen den Gährungskeimen und den Gährungs- und Fäulnisprocessen klar zu stellen; theils war man bestrebt, einen Causalnexus zwischen ähnlichen kleinsten lebenden Wesen und den Infectiouskrankheiten des Menschen und der Thiere nachzuweisen, welchen nahe liegende Speculationen und Analogieschlüsse vermuthen liessen. Eine Orientirung über die zahlreichen, die Bedeutung der Mikroorganismen betreffenden Streitfragen ist nur möglich, wenn zunächst nach beiden Richtungen gesondert die allmählichen Fortschritte der Lehre von den Fermenten und Parasiten verfolgt werden.

### I. Mikroorganismen als Erreger von Gährung und Fäulniss.

#### *1. Allmähliche Entwicklung der vitalistischen Lehre.*

Vor SCHWANN's Entdeckung wurde das Wesen der Gährung -- und zwar hatte man dabei speciell stets die alkoholische, weinige Gährung im Auge, durch welche der Zucker in Alkohol und Kohlen-

3) Die Zahlen beziehen sich auf das vorstehende Literaturverzeichniss.

säure zerfällt — entweder so aufgefasst, dass die Summe der Hefezellen als poröser Körper wirkt, der leicht Sauerstoff condensirt, diesen auf andere Substanzen überträgt und dabei die Spaltung des Zuckers veranlasst (BRACONNOT 1831); oder man nahm an, dass die Hefe katalysirende Eigenschaft und damit die Fähigkeit besitze, gährungsfähige Substanzen zu zerlegen in derselben Weise, wie Wasserstoffsuperoxyd durch fein vertheiltes Platin etc. zerlegt wird. (BERZELIUS 1827). — SCHWANN stellte demgegenüber zuerst die vitalistische Theorie auf, indem er, auf Experimente gestützt, die Ursache der Weingährung darin sah, dass die Hefe den Zuckerlösungen die zu ihrem Wachsthum nöthigen Stoffe entzieht und dabei bewirkt, dass die nicht in die Hefe übergehenden Elemente sich vorzugsweise zu Alkohol verbinden. Die Versuche SCHWANN's wurden in den nächsten Jahren mehrfach wiederholt und ihre Resultate wurden bestätigt und erweitert; unter den nächsten Fortschritten sei nur des von LÜDERSDORFF gebrachten Nachweises erwähnt, dass zerriebene Hefezellen unwirksam sind und nur intacte Zellen Gährung veranlassen können; sowie der Beobachtung von BLONDEAU, dass verschieden verlaufende Gährungen durch verschiedenartige Mikroorganismen bewirkt werden (39, 41).

Der striete Beweis der vitalistischen Theorie konnte indess nur durch eine Reihe von experimentellen Untersuchungen gegeben werden, die mit logischer Consequenz folgende Fragen zum Gegenstand haben mussten:

1. Zuvörderst musste gezeigt werden, dass in allen gährenden und faulenden Flüssigkeiten Keime gefunden werden. Dies wurde von sämtlichen Forschern constatirt, die sich nach SCHWANN mit der Gährungsfrage beschäftigten, und gerade das constante Vorkommen bestimmter mikroskopischer Organismen bildete den Ausgangspunkt der vitalistischen Theorie. Die Thatsache selbst wurde auch von den Gegnern derselben weniger bestritten als ihre Deutung; erst in späteren Jahren wurden hier und da Beobachtungen veröffentlicht, welche die Existenz faulender und gährender Medien ohne Organismen behaupteten — Beobachtungen, welche weiter unten im Zusammenhange berücksichtigt werden müssen.

2. Aus dem constanten Nebeneinandersein von Fäulniss und Organismen folgte aber selbstverständlich nicht ohne weiteres die causale Rolle der letzteren; diese musste vielmehr durch besondere Experimente bewiesen werden. Man prüfte nun zunächst, wie sich gährungsfähige Substanzen ohne Organismen verhalten; und zwar suchte man zu dem Zweck die in den Substanzen selbst, in den Ge-

fassen u. s. w. etwa vorhandenen Keime zu tödten durch Hitze von mindestens  $100^{\circ}$  C.; sodann aber die Substanzen gegen Eindringen neuer Keime zu schützen durch geeignete Verschlussvorrichtungen oder dadurch, dass man die zutretende Luft mit Mitteln behandelte, welche eine Tödtung der Keime zu bewirken vermögen.

Auch die Versuche, welche sich mit diesen nächstliegenden Fragen beschäftigen, reichen bis in eine frühe Periode zurück. 1836 zeigte F. SCHULZE, dass in fäulnissfähigen Stoffen keine Zersetzung eintrat, wenn er dieselben kochte, dadurch etwa vorhandene Keime tödtete, und nun den Zutritt der Luft z. B. durch eine Oelschicht abspernte oder die zutretende Luft durch Schwefelsäure leitete, welche die Keime zurückhalten und vernichten musste. Ganz ähnliche Versuche stellt SCHWANN 1837 an; er befreite die zutretende Luft durch starkes Erhitzen von den Organismen. Später versuchten SCHRÖDER und v. DUSCH die Fäulnisskeime der Luft einfach mechanisch zu entfernen, indem sie die Luft durch Baumwolle filtrirten; auch dies gelang vollständig, so dass mit Baumwolle verschlossene und mit gekochten fäulnissfähigen Stoffen gefüllte Gefässe keine Fäulniss entstehen liessen. Dasselbe Resultat erreichten HOFFMANN, später CHEVREUIL und 1862 PASTEUR dadurch, dass sie den ausgezogenen Hals des zum Fäulnissversuch bestimmten Gefässes mehrfach spitzwinklig krümmten. In allen hier aufgezählten Versuchen trat sofort Gährung oder Fäulniss auf, sobald die Zerstörung der zugeleiteten Keime unterblieb oder sobald der pilzdichte Verschluss der Gefässe aufgehoben wurde (85—89). — In ungeheuerem Maassstabe wurden später diese Experimente wiederholt bei der Conservirung der Nahrungsmittel; kaum ein biologischer Versuch ist so vielfach ausgeführt und hat ein so eindeutiges Resultat aufzuweisen: Behandelt man eine gährungsfähige Substanz mit Mitteln, welche vorhandene organisirte Keime zu zerstören geeignet sind, und behandelt man weiter die zutretende Luft und Alles, was mit den Substanzen weiterhin in Berührung kommt, in einer Weise, dass keine organisirte, lebende Keime hineingelangen können, so tritt keine Gährung, keine Fäulniss ein; unterlässt man irgend eine Vorsichtsmaassregel und gestattet den Zutritt von Keimen, so tritt Gährung ein. — Freilich hat es später, wie hier im Voraus bemerkt werden mag, auch bezüglich dieser Versuche und ihrer Resultate nicht an Widerspruch gefehlt. Einzelne Forscher behaupteten, trotz sorgfältigsten Abschlusses der gährungsfähigen Substanzen und trotz sicherer Tödtung der vorhandenen Keime doch Fäulniss und Gährung erhalten zu haben. Die betreffenden Versuche werden unten näher erörtert werden; doch sei gleich hier darauf aufmerk-

sam gemacht, wie leicht solche Resultate erhalten werden können, wenn eine der vielen nothwendigen Vorsichtsmaassregeln ausser Acht gelassen wird. Je geübter der Experimentator, um so seltener werden die Versuche fehlschlagen; je mehr die Praxis der Nahrungsmittelconservirung ausgebildet wird, um so sicherer gelingt die Herstellung durchweg fehlerfreier Präparate. Eine Reihe von Misserfolgen wird der beste Experimentator zu verzeichnen haben, wenn er anfängt, sich mit diesen Fragen zu beschäftigen, welche so zahlreiche Fehlerquellen einschliessen und so ungewöhnliche Vorsichtsmaassregeln erfordern. Gerade deshalb dürfen aber auch einzelne solcher widersprechender Versuche, in denen trotz scheinbar vollständigen Fernhaltens aller Keime dennoch Fäulniss oder Gährung eintrat, nicht zu einem Beweise gegen die vitalistische Theorie herangezogen werden.

Nimmt man einstweilen als Resultat der meisten und sorgfältigsten Conservirungsversuche an, dass bei Fernhaltung der Organismen Fäulniss und Gährung in gährungsfähigen Substanzen ausbleibt, und dass somit die Organismen eine causale Rolle bei den genannten Zersetzungs Vorgängen spielen, so ist dann gleichzeitig eine andere alte Streitfrage zur Entscheidung gebracht, nämlich die über die Abiogenesis (*Generatio aequivoca*). Wenn jede Entwicklung von Organismen in Substraten, die unter gewöhnlichen Umständen den vorzüglichsten Boden zu ihrer Vermehrung bieten, ausbleibt, sobald der Zutritt lebender Organismen unmöglich gemacht ist; und wenn sich das regste Leben sogleich entwickelt, sobald nur die geringste Zahl lebender Organismen hineingelangt, so ist der Schluss berechtigt, dass die lebende Zelle nicht aus unorganisirter Substanz gebildet werden kann, sondern stets wieder einer anderen organisirten Zelle entstammt.

Die geschilderten Versuche liessen jedoch noch zwei stichhaltige Einwände zu; und diese erheischen eine weitere besondere Modification der Conservirungsexperimente, falls durch letztere die vitalistische Theorie der Gährung oder die Unwahrscheinlichkeit der Abiogenesis streng erwiesen werden sollte. Man konnte nämlich einigen Versuchsreihen gegenüber einwenden, dass der Sauerstoffmangel in den gekochten und luftdicht verschlossenen Gefässen die Entwicklung organischen Lebens hemme; aber diese Einrede wurde schon hinfällig, als die Versuche mit filtrirter Luft eine unverminderte Sauerstoffzufuhr gestatteten und dennoch die Entstehung von Organismen verhinderten. — Weit schwieriger war eine andere, unten ausführlicher zu erörternde Behauptung zu widerlegen: Man sagte, das Erhitzen der gährungsfähigen Substanzen, die als Versuchsobject dienen,



verändere diese in solcher Weise, dass keine Organismenbildung darin stattfinden könne; und ebenso würden nicht organisirte chemische Fermente, die in den Substanzen enthalten seien und deren Zersetzung auch ohne Organismen zu bewerkstelligen vermöchten, durch das Erhitzen zerstört und deshalb faulten diese Substanzen nicht. Diese Einrede veranlasste eine grosse Reihe neuer Conservirungsversuche, die mit nicht erhitzten und überhaupt ganz unveränderten organischen Stoffen angestellt wurden. VAN DEN BROEK, PASTEUR, RINDFLEISCH, LISTER und viele Andere, neuerdings namentlich MEISSNER (118), konnten die verschiedensten fäulnissfähigen Substanzen, wenn dieselben nur vorher nicht der Gefahr einer Verunreinigung durch Organismen ausgesetzt waren, in absolut reinen Gefässen und gegen das Eindringen neuer Keime geschützt, Jahre lang conserviren, ohne dass irgend welche Gährung oder Fäulniss eintrat; dies gelang z. B. mit Traubensaft, Eidotter, Blut, Milch, den verschiedensten thierischen Organen etc. — Diese Versuche, auf die später noch weiter einzugehen sein wird, und gegenüber denen solche Versuche, in welchen die Conservirung nach derselben Methode missglückt ist, selbstverständlich durchaus keine Beweiskraft haben, sind für die Frage nach der Abiogenese und nach der Rolle der Organismen bei der Gährung und Fäulniss von entscheidender Wichtigkeit; erst auf Grund dieser Versuchsanordnung konnte mit vollem Recht behauptet werden, dass eine *generatio aequivoca* nicht stattfindet und dass ebensowenig Gährung oder Fäulniss ohne die Mitwirkung kleinster Organismen zu Stande kommt.

3) Sind Organismen die stete Ursache der Gährung und Fäulniss, so muss man Angesichts der Thatsache, dass fäulnissfähige Stoffe an jedem Ort und zu jeder Zeit in Zersetzung gerathen (sobald nicht besondere hindernde Massregeln angewendet werden), zu der Annahme kommen, dass niedere gährungserregende Organismen in grösster allgemeinsten Verbreitung vorkommen und dass dadurch stets und überall Gelegenheit zu einer Inficirung fäulnissfähiger Objecte gegeben ist. Auf den Nachweis der Verbreitung organisirter Fermente in unserer steten Umgebung waren daher die ferneren Bemühungen der Anhänger der vitalistischen Theorie gerichtet. — Untersuchungen, die schon mit EHRENBERG beginnen und dann von POUCHET, TYNDALL, PASTEUR, COHN (90, 91) fortgesetzt wurden, constatirten mit Sicherheit, dass die Luft stets Gährungs- und Fäulnissskeime enthält, dass der Staub zum Theil aus Mikroorganismen besteht, dass Wasser, Boden und unsere gesammte Umgebung überall mit diesen kleinsten Zellen verunreinigt ist. In späterer Zeit sind namentlich die Methoden der Aëroskopie ausgebildet, in der Meinung, dass gerade die Luft

hauptsächlich als Träger der Keime functionire und als das Medium in Betracht komme, welches am häufigsten zur Infection gährungsfähiger Substanzen führe. Neuere Untersuchungen (SANDERSON, RINDFLEISCH, COHN, HILLER) haben zwar dargethan, dass die Luft an den meisten Orten relativ wenig wirksame Keime enthält, und dass die Uebertragung der wirksamen Gährungserreger häufiger durch Berührung mit festen Gegenständen, mit Wasser u. dergl., die mit Keimen verunreinigt sind, erfolgt, als durch Vermittelung der Luft; aber durch diese Aenderung der Anschauungen über die Betheiligung der verschiedenen Medien an der Gährungserregung wird an der Lehre von der Panspermie, von der Allverbreitung der Keime in unserer Umgebung, nichts geändert.

4) Die causale Beziehung der Mikroorganismen zu Gährung und Fäulniss ist durch die bisher besprochenen Untersuchungen vollkommen sicher gestellt. Man hat in allen faulenden und gährenden Substanzen Organismen gefunden; man hat dieselben Organismen in weitester Verbreitung in unserer Umgebung constatirt; man hat weiter zeigen können, dass ohne diese Organismen, und zwar wenn man im Uebrigen die gährungsfähigen Substanzen völlig unverändert lässt und nur den Zutritt der Organismen verhindert, keine Gährung, keine Fäulniss eintritt; dass diese vielmehr erst erfolgt, wenn eine Berührung mit der verunreinigten Umgebung lebensfähige Keime hineingebracht hat. — Aber es fragt sich nun weiter, in welcher Weise man sich die Wirkung der Organismen auf die gährungsfähigen Substanzen vorzustellen hat. Hier sind offenbar verschiedene Möglichkeiten denkbar; und die vitalistische Theorie im engeren Sinne würde erst dann anerkannt werden müssen, wenn die Gährung und Fäulniss geradezu als vitaler Vorgang, als Lebensäusserung und Arbeitsleistung der ursächlichen Organismen nachgewiesen würde.

In der ersten Zeit nach SCHWANN's Entdeckung bildeten sich bereits bestimmte Anschauungen über den Wirkungsmodus der Organismen heraus. SCHWANN selbst behauptete, dass die Gährung durchaus dem Wachsthum der Hefe parallel gehe und dass die Gährung dadurch entstehe, dass die Hefepflanze dem Nährsubstrat gewisse zu ihrem Wachsthum nothwendige Stoffe entziehe und hierbei gleichzeitig eine Alkoholbildung aus den nicht für ihr Wachsthum brauchbaren Elementen veranlasse. Aehnliche, aber durchweg mehr speculative und nicht experimentell hinreichend begründete Anschauungen äusserten die nächsten Zeitgenossen SCHWANN's. Ihre eigentliche Ausbildung erhielt die vitalistische Lehre erst durch PASTEUR. Allerdings ist es PASTEUR nicht gelungen, von Anfang an

einen passenden und dauernd richtigen Ausdruck für den Hergang bei der Gährung zu finden, vielmehr haben die von ihm gelehrten Sätze im Laufe der Zeit und unter dem Einfluss weiterer Experimente und besserer Einsicht sehr bedeutende Modificationen erfahren; aber bei einer so complicirten und die Kräfte mehr als eines Forschers absorbirenden Frage war ein abgeschlossenes Urtheil von vornherein nicht möglich und nur eine zu zähe Consequenz würde der gedeihlichen Entwicklung der Erkenntniss geschadet haben.

PASTEUR (34) stellte 1857 zunächst fest, dass die Gährung aufs innigste an das Leben und das Wachsthum der Hefezellen gebunden ist und daher als eine Arbeitsleistung der Hefezellen erscheint. Das Wachsthum der Hefe findet statt auf Kosten der Bestandtheile der Gährflüssigkeit; daher kann auch nicht aller Zucker in Alkohol und Kohlensäure zerlegt werden, sondern ein etwa 5 % betragender Bruchtheil wird zum Aufbau von Zellenbestandtheilen und zur Bildung von Nebenproducten verwandt; die gährungsfähigen Stoffe bilden die Nahrung der Hefe; diese verwendet einen Theil zur Bildung neuer Zellsubstanz; der andere ungleich grössere Theil erleidet in der Hefezelle eine Umwandlung in Alkohol und Kohlensäure. Da die Hefezellen auch aus stickstoffhaltiger Substanz und Mineralbestandtheilen bestehen, so nahm PASTEUR an, dass Spuren beider Stoffe in den Gährungsflüssigkeiten vorhanden sein müssen, wenn die Hefe sich entwickeln und ihre Arbeitsleistung, die Zuckerzersetzung, liefern soll. Später fand PASTEUR, dass die Hefe zwar auch in reinen stickstofffreien Zuckerlösungen sich entwickeln und Gährung hervorrufen kann; aber hier erfolgt die Weiterentwicklung dann auf Kosten eines Vorraths an stickstoffreicher Substanz, den frische Hefezellen zu enthalten pflegen. Ebenso scheinen alte, abgestorbene Hefezellen neues Nährmaterial für junge Zellen liefern zu können; und unter Umständen, wenn nämlich Hefe mit zuckerfreier Flüssigkeit angerührt wird, kann auch stickstofflose (Cellulose?) Substanz der alten Hefezellen die Rolle des Zuckers vertreten, Alkohol und Kohlensäure produciren und so eine Selbstvergährung der Hefe liefern.

Im Jahre 1860 zeigte dann PASTEUR, dass die stickstoffhaltigen Nährstoffe der Hefe nicht aus eiweissartigen Substanzen zu bestehen brauchen, sondern dass Ammoniaksalzen die gleiche Bedeutung für den Stoffwechsel der Hefe zukommt. Solche Salze nebst den nothwendigen Mineralstoffen (die am einfachsten in Form von Hefasche zugesetzt werden) und Zucker bilden die einzig nöthigen Ingredienzien zu einer Züchtungsflüssigkeit für Hefe, und in derartig zusammengesetzten einfachsten Lösungen geht die Gährung in ausgezeichnet



neter Weise von statten. Die Versuche wurden von COHN, DUCLAUX u. A. vollkommen bestätigt und sie lassen es als ganz unmöglich erscheinen, den Eiweissstoffen der Gährungsflüssigkeiten eine so wichtige Rolle bei dem Gährungsprocess zuzuschreiben, wie dies namentlich LIEBIG gethan hatte (s. unten).

Zur Erkenntniss des Stoffwechsels der Hefe war ferner eine Beobachtung über das Verhalten des Sauerstoffs sehr wichtig. PASTEUR fand, dass die Gährungspilze bei ihrem Wachsthum in erheblicher Menge Sauerstoff aufnehmen und Kohlensäure ausscheiden; durch SCHÜTZENBERGER wurde dies bestätigt und weiter ausgeführt, dass um so mehr Sauerstoff verbraucht wird, je lebhafter die vegetative Thätigkeit der Hefezellen sich entfaltet. Mehrfache anderweite Untersuchungen gelangten zu ähnlichem Resultat (TRAUBE, BREFELD), und damit schien das biologische Verhalten der Fermentorganismen klarer und die directe Abhängigkeit der Gährung von dem Stoffwechsel der Hefe sicherer gestellt zu sein.

Aber weitere Untersuchungen PASTEUR's führten zu wesentlich anderen Ergebnissen. Er fand, dass bei Behinderung des Luftzutritts die Alkoholbildung in reichlichem Maasse vor sich geht, während bei Sauerstoffzufuhr nur wenig Zucker zerlegt wird. Bei anderen Gährungsprocessen, bei der Buttersäuregährung, bei der Fäulniss machte PASTEUR dieselbe Beobachtung; nur bei Sauerstoffmangel trat lebhafte Gährung ein; Sauerstoffzufuhr zeigte sich dem Gährungsprocess geradezu feindlich, obwohl dabei Wachsthum und Vermehrung der Hefezellen stattfinden konnte. Einzelne Gährungs- und Fäulniserreger schienen allerdings ohne freien Sauerstoff nicht existiren zu können; diese Organismen unterschied PASTEUR als Aërobien von den Anaërobien, welche durch freien Sauerstoff getödtet werden oder doch nur bei Abwesenheit von Sauerstoff wirksam sind.

Der Sauerstoffmangel erschien PASTEUR bald als die nothwendigste Bedingung der Gährung; er fasste denselben als geradezu unerlässlich für jede Gährung auf und formulirte seine Ansicht dahin, dass Gährung eintritt, sobald irgend eine lebende Zelle bei Sauerstoffabschluss zu vegetiren vermag, und dass überall, wo Gährung gefunden wird, auch Mangel an Sauerstoff vorhanden ist.

Spätere zahlreiche Beobachtungen haben erwiesen, dass die letztgenannten PASTEUR'schen Resultate in der That richtig sind; die meisten (wenn nicht alle) Fermentorganismen können ohne freien Sauerstoff existiren und wachsen; und allen denjenigen Organismen, welche ohne Sauerstoff bestehen können, kommt die Eigenschaft der Gährungserregung zu. Aber — und darin weichen die neueren An-



schauungen von den PASTEUR'schen etwas ab — diese Organismen sind meist auch im Stande, bei Sauerstoffzufuhr fortzukommen; eine Tödtung durch Sauerstoff findet in den seltensten Fällen statt, und gewöhnlich geht das vegetative Leben und das Wachsthum sogar besonders günstig unter der Sauerstoffwirkung einher. Weiter haben die Untersuchungen von BÉRARD, BELLAMY, LECHARTIER, TRAUBE, BREFFELD, MÜNTZ ergeben, dass es in der That eine weit verbreitete Eigenschaft der verschiedensten Pflanzenzellen ist, bei Sauerstoffabschluss Gährungsprodukte, namentlich Kohlensäure und Alkohol zu liefern; und dass es bei den specifischen Gährungserregern sich daher eigentlich nur um ein quantitativ abweichendes Verhalten gegenüber anderen organisirten Zellen und Zellcomplexen handelt (119—132). — Auf diese zur Zeit geltende Auffassung der Rolle des Sauerstoffs bei den Fermentwirkungen wird im 3. Abschnitt noch näher einzugehen sein.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich, dass über die nähere Art und Weise, in welcher die Zersetzung des gährungsfähigen Materials durch die Fermentorganismen vor sich geht, noch wenig Bestimmtes bekannt ist. Alle erwähnten Versuche zeigen zwar immer auf's Neue, dass eine innige Beziehung zwischen der lebenden Hefezelle und der Gährung besteht, und bilden weitere Stützen der vitalistischen Lehre; aber über den genaueren Vorgang bei der Gährungserregung lassen sich einstweilen nur Speculationen aufstellen. So nimmt PASTEUR an, dass die Hefezelle bei Sauerstoffmangel dem Zuckermolekül Sauerstoff entziehe und dadurch dessen Zerlegung veranlasse; eine andere Theorie vermuthet eine Nekrobiose der Zellmembran als eigentliche Ursache der Gährung (KARSTEN, HARZ); andere Forscher supponiren die Production eines chemisch wirksamen Ferments durch die lebenden Fermentorganismen (LIEBIG, HOPPE-SEYLER); NÄGELI endlich lehrt neuerdings, die Gährthätigkeit komme dadurch zu Stande, dass durch intramolekuläre Thätigkeit im Protoplasma Bewegungszustände geschaffen werden, die ausreichen, um ausserhalb der Zelle gelagerte Moleküle gährungsfähiger Stoffe in Mitschwingung zu versetzen und zu spalten. (Vgl. hierüber den 3. Abschnitt.)

5) Von grosser Bedeutung für die vitalistische Gährungslehre ist die Unterscheidung verschiedener und specifische Wirkungen hervorrufender Fermentorganismen. Zur Zeit der Begründung der vitalistischen Lehre war nur von organisirten Fermenten im Allgemeinen die Rede; man studirte den Verlauf und die Produkte der Gährung und Fäulniss unter wechselnden Verhältnissen, ohne dass man die Art der vorhandenen Gährungserreger näher berücksichtigte, und ohne

dass man sich darüber orientirte, ob eine bestimmte Gattung allein oder aber ein Gemenge verschiedener Pilze an der Zersetzung des gährungsfähigen Materials theilhaftig war. Und doch war eine solche strenge Sonderung durchaus nothwendig, wenn die Lebensbedingungen der Organismen und die Beziehungen ihres Lebens und Stoffwechsels zu den Gährungserscheinungen genauer erkannt werden sollten. — Auch in dieser Richtung waren PASTEUR's Arbeiten die eigentlich grundlegenden. Er unterschied zuerst mit aller Schärfe einen bestimmten Organismus, welcher Milchsäuregährung veranlasst, einen anderen, welcher Buttersäure liefert etc., und betonte die Nothwendigkeit weiterer Differenzirung. Die von PASTEUR aufgestellten Merkmale mögen ungenügend, die unterschiedenen Organismen schlecht charakterisirt sein — jedenfalls findet unser heutiges complicirtes und eine Fülle von Arten umfassendes System von Fermentorganismen seine Anfänge in jenen PASTEUR'schen Differenzirungen. — Auch diese Lehre von der Existenz verschiedener Mikroorganismen mit constanten Eigenschaften hat indess bis in die neueste Zeit lebhaften Widerspruch erfahren. Während einerseits durch COHN, FITZ, KOCH u. A. zahlreiche Beweise für die specifische Verschiedenheit der organisirten Fermente beigebracht sind, suchen NÄGELI, BILLROTH, WERNICH u. A. zu zeigen, dass constante Differenzen wenig oder gar nicht bestehen und dass die Beschaffenheit des Nährsubstrats und äussere Umstände fast ausschliesslich für die Qualität und Quantität der Fermentwirkung maassgebend sind, nicht aber die Form und die Herkunft der Organismen. Diese Frage hat sich gerade in der neueren Zeit am schärfsten zugespitzt und bildet den Angelpunkt der modernen mykologischen Forschung; dieselbe ist daher zweckmässig in einem späteren Kapitel im Zusammenhang mit den übrigen gegenwärtig discutirten Sätzen der Fermentlehre und namentlich mit besonderer Beziehung zu der parasitären, krankheitserregenden Rolle der Organismen zu erörtern.

## 2. Einwände gegen die Grundlagen der vitalistischen Lehre.

Im Vorstehenden ist die vitalistische Lehre in einem abgerundeten Zusammenhang dargestellt, der eine gleichmässige, von fundamentalen Einwänden und Angriffen kaum berührte Entwicklung vermuthen lässt. Eine solche hat aber thatsächlich keineswegs stattgefunden; vielmehr traten schon früh Gegner der neuen Lehre auf, welche mit vielem Scharfsinn alle schwachen Punkte derselben blosstellten und durch zahlreiche Experimente die einzelnen von PASTEUR und seinen Anhängern aufgestellten Sätze zu widerlegen suchten.

— Die Einwände gingen namentlich aus von solchen Forschern, die eine mehr chemische Erklärung des Gährungsvorgangs suchten und in der vitalistischen Theorie nicht eine Aufhellung, sondern vielmehr eine Verdunkelung des zu enträthselnden Vorgangs sahen. Namentlich betheiligten sich LIEBIG, später HOPPE-SEYLER an dieser Opposition; ihnen schlossen sich COLIN, BILLROTH, HILLER, FLECK u. A. an.

LIEBIG hatte schon früh — im Jahre 1839 — Gährung und Fäulniss dadurch zu erklären versucht, dass in der Hefe lösliche Proteinsubstanzen existiren sollten, welche durch ihren Zerfall die Zersetzung des Zuckers anregen, gerade so wie überhaupt zahlreiche bekannte chemische Körper, die im Zustand der Verbindung und Zersetzung begriffen sind, in anderen Körpern denselben Bewegungszustand der Atome zu erregen vermögen. Dieser Zerfall der löslichen Proteinsubstanz ist dann selbstverständlich kein Lebensact der Hefezelle, sondern vielmehr ein correlatives Phänomen des Todes. Es ist eine bei vielen derartigen chemischen Actionen zu beobachtende Eigenthümlichkeit, dass relativ geringe Mengen des einen zerfallenden Körpers grosse Mengen des anderen Körpers zerlegen können; so z. B. führte LIEBIG die Zerlegung von Oxalsäure, Oxamid und Wasser an, bei der eine kleine Menge Oxalsäure für grosse Mengen Oxamid ausreicht; ferner wies er auf den ähnlichen Verlauf der Umsetzung hin, die bei der Zersetzung des Cyans durch Aldehyd bei Gegenwart von Wasser stattfindet. — Auch der Unterschied der Alkoholgährung und des Fäulnissprocesses lässt sich leicht auf diese LIEBIG'sche Auffassung begründen: bei der Fäulniss wird die Zerlegung durch das sich zersetzende, aus Albuminaten bestehende Fäulnissmaterial selbst übertragen, so dass die begonnene Fäulniss durch eigene Bewegung fort dauert, auch nachdem die erste, den Anstoss gebende Ursache unwirksam geworden ist; bei der Gährung dagegen vermag der Zucker (die hier in Zersetzung begriffene Substanz) seine Bewegung nicht zu übertragen und demgemäss ist eine fremde Ursache, ein Ferment, nicht nur zur Einleitung, sondern auch zur Unterhaltung der Bewegung nothwendig.

Offenbar war indess diese LIEBIG'sche Auffassung rein hypothetischer Natur; die zerfallende Proteinverbindung, welche die Ursache der Gährung sein sollte, war keineswegs als wirklich vorhanden erwiesen; und es gelang später sogar, mit aller Sicherheit zu zeigen, dass die einzige experimentelle Stütze dieser Annahme — die reichliche, den Cellulosegehalt der Hefe weit übersteigende, und daher jedenfalls auf eine in den Zellen enthaltene zersetzliche Verbindung

zurückzuführende Alkoholbildung bei der Selbstvergähung der Hefe — auf unrichtigen Voraussetzungen und Versuchsfehlern beruht.<sup>1)</sup> Ausserdem aber war namentlich der Versuch, die Gährungserregung in einen gewissen Gegensatz zu den Lebensäusserungen der Hefe zu bringen, durch die zahlreichen Experimente unmöglich geworden, welche die directe Abhängigkeit des Gährungsprocesses von dem Leben der Hefezellen unwiderleglich erwiesen.

Unter dem Eindruck der letztgenannten Argumente modificirte LIEBIG 1870 seine Theorie dahin, dass die lebende Hefezelle die früher von ihm angenommene fermentartige Substanz enthalte und producire, und dass deshalb die Bildung des Ferments mit dem Leben der Zelle einhergehe. Der Gährungsact selbst beruhe aber somit auf einem nicht organisirten Ferment, und die Hefezelle leiste mit der Production des Ferments nichts anderes, als was zahlreiche andere Zellen ebenfalls leisten; so wie der Mensch diastatisches Ferment, Pepsin, Trypsin producirt, haben alle anderen Pflanzen und Thiere ihre Fermente; aber die Organismen sind darum nicht identisch mit diesen Fermenten und die Fermentwirkung ist nicht als directe Arbeitsleistung der Zellen aufzufassen. Gelingt es, die Fermente von den Zellen abzutrennen, so sind dann diese letzteren zur Einleitung und Unterhaltung der Gährungsprocesse überhaupt nicht mehr nöthig. In ähnlicher Form war diese Lehre schon 1858 von TRAUBE ausgesprochen; und später (1876) wurde sie namentlich von HOPPE-SEYLER vertheidigt. Dieselbe beruhte also zum Theil auf der Analogie der Gährungs- und Fäulnissprocesse mit den Spaltungen und Zersetzungen nicht organisirter Fermente und schien um so mehr Halt zu gewinnen, je zahlreichere und umfangreichere Zerlegungen organischer Substanz auf chemische, lösliche, nicht organisirte Fermente als einzige Ursache zurückgeführt werden konnten. Vor allem aber war es ausserdem zur Sicherung dieser Lehre erforderlich, die zahlreichen Beweise zu widerlegen, welche für die vitalistische Theorie von PASTEUR und dessen Anhängern vorgebracht waren.

Diese Einwände, welche bald den Fundamenten der vitalistischen Lehre galten, bald nur auf einzelnen Punkten dieselbe angriffen, waren im wesentlichen folgende:

1) Es wurde behauptet, dass zahlreiche Gährungs- und Fäulnissprocesse ohne Gegenwart von Mikroorganismen auftreten. Um dies zu erweisen, beobachtete man entweder das Verhalten fäulnissfähiger Substanzen bei dichtem Verschluss, ferner bei Gegenwart von Mitteln

---

1) NÄGELI, Theorie der Gährung. p. 3.



zur Tödtung der Organismen, endlich nach mechanischer Abtrennung der letzteren. — Im Innern von Leichen, im Inhalt angebrüteter, aber unverletzter Hühnereier, in abgestorbenen Leibesfrüchten der Menschen und der Thiere fand man oft intensive Fäulnisserscheinungen, ohne dass Mikroorganismen nachgewiesen werden konnten; ebenso wurde mehrfach Milchsäure-, Essigsäure- und Buttersäuregährung, scheinbar ohne Betheiligung von Organismen, beobachtet (COLIN, BILLROTH, HILLER, SCHRÖDER, HOPPE-SEYLER, KÜHNE). Zahlreiche Versuche wurden ferner von HOPPE-SEYLER, BILLROTH, TIEGEL, SERVEL, PASCHUTIN, SANDERSON, NENCKI u. A. ausgeführt, bei denen fäulnissfähige Substanzen längere Zeit unter solchen Cautelen aufbewahrt wurden, dass ein Zutreten von Organismen voraussichtlich nicht stattfinden konnte. In vielen Fällen wurde dann trotzdem Fäulniss beobachtet, ohne dass überhaupt Mikroorganismen oder doch entsprechende Mengen derselben zu finden waren. Ebenso bemerkte man bei aufbewahrtem Harn alkalische Reaction und Beginn der Fäulniss ohne nachweisbare Organismenentwicklung (COLIN, BILLROTH, HILLER u. A.) — Ferner wurde Tödtung der Mikroorganismen durch Hitzeeinwirkung oder durch mässigen Carbolzusatz (z. B. zum Harn 0,5 %, HOPPE-SEYLER) versucht; trotzdem trat zuweilen Fäulniss ein, ohne dass Organismen aufgefunden wurden. — Endlich wurde eine Entfernung der Organismen aus faulenden oder gährenden Flüssigkeiten durch Filtration versucht; auch hier trat in mehreren Fällen Fäulniss oder Gährung der filtrirten, organismenfreien Flüssigkeit auf (HELMHOLTZ 1843, FLECK u. A.).<sup>1)</sup>

2) Es wurde behauptet, dass andererseits in zersetzungsfähigen Flüssigkeiten zahlreiche Mikroorganismen sich ansiedeln können, ohne dass Zersetzungserscheinungen eintreten. Solche Befunde hatte namentlich HILLER bei seinen Versuchen mit Harn zu verzeichnen; ferner wurden in thierischen, dem frisch getödteten Körper entnommenen Organen entwicklungsfähige Mikroorganismen constatirt, die demnach ohne lebhaftere Vermehrung und ohne Wirkungen irgend welcher Art im lebenden Körper existirt haben mussten.

3) Man schloss aus verschiedenen Versuchen, dass die Mikroorganismen keine Zersetzung der höchstconstituirten organischen Substanzen und namentlich der Eiweissstoffe einzuleiten vermögen. Sie scheinen vielmehr wie jede Pflanze ihr Protoplasma aus einfachsten organischen Verbindungen aufzubauen; in Eiweisslösungen, z. B. in Hühnereiern, ebenso im lebenden thierischen Gewebe können sie sich

1) Ueber die scheinbare Abiogenesis in gekochten Heuinfusen (BASTIAN, HUIZINGA) s. im folg. Abschnitt.

daher nicht vermehren, und dementsprechend eignen sich Eiweisslösungen nicht zu Culturflüssigkeiten für Mikroorganismen (BILLROTH, HILLER, HOPPE-SEYLER, PASCHUTIN u. A.).

Bestätigten sich die Resultate dieser verschiedenen Versuchsreihen, so war man allerdings zu der Annahme genöthigt, dass die Mikroorganismen keineswegs die primäre, unmittelbare Ursache der durch Gährung und Fäulniss bedingten Zersetzungen organischer Substanz sind; sondern dass zunächst eine Umwandlung der zersetzlichen Stoffe eintreten pflegt durch in den Substanzen selbst enthaltene Ursachen — durch lösliche chemische Fermente; und dass erst dann, wenn die Substanz bis zu einem gewissen Grade verändert ist, eine Vermehrung derjenigen Organismen stattfindet, welche bei der weiten Verbreitung ihrer Keime selbstverständlich stets in die Substanzen hineingerathen sein werden; die Art und Beschaffenheit des zersetzlichen Substrats, und namentlich der ersten in demselben auftretenden Veränderungen bedingt dabei die besondere Art von Organismen, welche vorzugsweise zur Entwicklung kommt und gedeiht. Von da ab wirken dann gewöhnlich auch diese angesiedelten Organismen bei der Zersetzung der Substanz mit; aber sie sind auch für die weitere Zerlegung nicht unbedingt nothwendig und die Zersetzung geht keineswegs immer ihrer Entwicklung parallel.

Den nicht organisirten löslichen Fermenten wird demnach bei dieser Auffassung die weitaus wesentlichste Rolle zugeschrieben. Solcher Fermente hat man in letzter Zeit eine immer grössere Zahl kennen gelernt, und mit dieser Kenntniss schien die Wahrscheinlichkeit ihrer eingreifenderen Wirksamkeit auch bei den gewöhnlichen Gährungs- und Fäulnissprocessen zu wachsen. Die Wirkung der Diastase, des Emulsins, des Myrosins, des invertirenden Ferments der Hefe, die Ptyalin- und Pepsinwirkung, die energische zersetzende Thätigkeit des Pankreas und des aus diesem isolirten Trypsins boten die wichtigsten Analogieen und die Stütze der „chemischen“ Gährungstheorie.

---

So gewichtig aber auch die vorgebrachten Einwände gegen die vitalistische Lehre erscheinen, so entschieden sind dieselben zurückgewiesen und durch sorgfältigste Experimente in jeder Beziehung widerlegt. — Was zunächst das behauptete Auftreten von Fäulniss- und Gährungserscheinungen ohne Organismen betrifft, so kann nicht genug Gewicht auf den Hinweis gelegt werden, dass bei diesen Beobachtungen und Versuchen das der vitalistischen Theorie ungünstige Re-

sultat immer zusammenfällt mit etwaigen Fehlern der Versuchsanordnung oder mit Ungenauigkeiten der Beobachtung. Es ist unter Umständen eine schwierige Aufgabe, in einer eiweisshaltigen, längere Zeit gefaulten Flüssigkeit die — vielleicht auch degenerirten und veränderten — Mikroorganismen zu erkennen, und es erscheint jedenfalls als unerlässlich, dabei stets die besonderen, in der Neuzeit ausgebildeten Methoden, wie Trocknen, Färben etc., anzuwenden; geschieht das nicht und findet man keine Organismen, so ist damit gewiss nicht erwiesen, dass wirklich keine Organismen vorhanden sind; aber trotzdem hat man aus dem negativen Resultat eine Handhabe gegen die vitalistische Theorie gemacht. — Noch schwieriger ist es, tadellose Versuchsanordnungen zu treffen, durch die ein Hineingelangen von Organismen in zersetzungsfähige Substanzen sicher vermieden wird; erst grosse Uebung nach einer langen Reihe von Fehlversuchen pflegt erfahrungsgemäss dahin zu führen, dass eine solche Versuchsreihe mit gleichmässigem Resultat durchgeführt wird. Begnügt man sich mit einer kleineren Anzahl von Versuchen und beherrscht man die Methode nicht vollkommen, so werden zweifellos alle oder die meisten Präparate Organismen enthalten und Fäulniss oder Gährung zeigen; sieht man nun über die Fehlerquellen leicht hinweg, so ist wiederum mit jedem fehlerhaften Versuche für die Abiogenesis oder für die Annahme einer Fäulniss ohne Organismen Beweismaterial gewonnen. Es ist klar, dass auf derartige Resultate nur dann etwas zu geben ist, wenn dieselben in allen den Fällen, wo die nöthige Uebung des Experimentators in mykologischen Versuchen vorausgesetzt werden darf, eindeutig ausfallen. Nun ist aber im Gegentheil bekannt, dass mehrere Forscher, und in der Neuzeit namentlich MEISSNER, eine grosse Reihe von Resultaten erhalten haben, die durchaus der vitalistischen Theorie günstig sind; Substanzen zersetzlichster Art sind einfach durch consequenten Abschluss gegen Organismen Jahre lang unzersetzt conservirt; und ebenso ist es geübten Mikroskopikern noch stets geglückt, in faulenden Substanzen Organismen zu finden. Mit diesen gar nicht anzuzweifelnden Befunden ist die Beweiskraft der gegentheiligen Resultate selbstverständlich völlig erloschen, und man muss ihre Abweichungen auf Fehler der Methode und Beobachtung zurückführen.

Auch der zweite Einwand, dass Organismenentwicklung ohne Fäulniss eintreten könne, ist durchaus nicht beweisend. Derselbe datirt noch aus der Epoche, in welcher man von verschiedenen Formen und Wirkungen differenter Organismen wenig oder nichts wusste. Es gilt jetzt als selbstverständlich, dass nicht jeder Orga-

nismus in jedem Nährsubstrat die Möglichkeit zu lebhafter Entwicklung findet, und ferner, dass die Entwicklung bestimmter Organismen nicht nothwendig mit Entbindung stinkender Gase, kurz den gewöhnlichen Fäulnissymptomen, einhergehen muss. Ein Befund von Organismen ohne begleitende Fäulnisserscheinungen hat daher nichts befremdendes und beweist nichts gegen die vitalistische Theorie.

Derselbe Mangel einer Specificirung hat zu dem dritten Einwande geführt, wonach Eiweissstoffe und intacte thierische Gewebe kein geeignetes Nährsubstrat für Organismen bilden sollten. Es ist noch letzthin von ROSENBACH <sup>1)</sup> auf's deutlichste gezeigt, wie gewisse Spaltpilze mit grösster Energie Eiweissarten zersetzen, während andere nur langsam geringfügige Veränderungen hervorzubringen vermögen. Der Befund einer solchen geringfügigen Zersetzung von Albuminaten beweist daher keineswegs die Entbehrlichkeit der Mikroorganismen bei der Eiweisszersetzung durch Fäulniss.

Was endlich die Existenz und Wirkung löslicher chemischer Fermente betrifft, so ist dieselbe eine Thatsache, welche von den Anhängern der vitalistischen Theorie niemals bestritten wurde. Aber nichts berechtigt bisher, die eingreifenden Zersetzungen, welche organische Substanz bei der Gährung und Fäulniss erfährt, auf solche Fermente zurückzuführen; diese wirken vielmehr immer nur in einer bestimmten, begrenzten Weise und lassen sich in ihrem Effect meistens durch andere organische Contactsubstanzen ersetzen; sie zerlegen gewisse chemische Verbindungen in gleichmässiger und einfacher Weise; sie liefern keine Kohlensäure, und ihr Gesamteffect fällt also in jeder Beziehung anders aus, als wir es z. B. von einem Fäulnissferment erwarten müssten. — Eine genauere Analyse der Wirkung dieser nicht organisirten Fermente wird weiter unten auszuführen sein.

Einige geringfügigere Einwände der Anhänger einer „chemischen“ Theorie der Gährung und Fäulniss machen mehr den Eindruck einer allmählichen Annäherung an die vitalistische Lehre. So die Behauptung, dass die Fäulniss ein zu complicirter Vorgang sei, um durch die Wirkung eines Ferments erklärt zu werden; ferner dass der Wasserstoff, der sich nachweisbar bei vielen Fermentationen bildet (z. B. bei der Umwandlung von Milchsäure in Buttersäure, von Apfelsäure in Bernsteinsäure etc.), sich energisch an der Zersetzung der Substanz betheilige, indem er Reductionen oder, nach Zerreissung des Sauerstoffmoleküls, Oxydationen veranlasst. In demselben Sinne

---

1) Deutsche Zeitschr. f. Chirurgie, Bd. 16, p. 342.



ist es aufzufassen, wenn betont wird, dass neben den organisirten Fermenten doch jedenfalls auch chemische, lösliche Fermente in Action treten, und dass man zwei Arten von Fäulniss unterscheiden müsse, stinkende und nicht stinkende, von denen die erstere wesentlich oder ausschliesslich dem Einfluss chemischer Fermente zuzuschreiben sei (HILLER). — Alle diese Einwände berühren im Grunde die vitalistische Lehre gar nicht, da sie nichts dieser entgegengesetztes aussagen; auch unter der Annahme organisirter Fermente ist es nicht möglich, die sog. Fäulniss als einheitlichen, scharf definirbaren, constanten Vorgang und als Leistung eines einzelnen bestimmten Organismus anzusehen; sondern der Complex von Vorgängen, welcher gewöhnlich als Fäulniss zusammengefasst wird, ist sicher auf mehrere verschiedene Fermente zurückzuführen, deren Isolirung und Einzelfunction noch nicht sicher ermittelt ist. (Vgl. den 3. Abschnitt.)

Auch die letzte Modification der LIEBIG'schen Auffassung, dass die Gährung und Fäulniss von einem chemischen Ferment abhängig sei, das von den Mikroorganismen producirt wird und dessen Production an das Leben der Zellen gebunden ist, erscheint im Grunde nicht mehr als ein Einwand gegen die vitalistische Lehre, sondern als deren Anerkennung; in der unmittelbaren Abhängigkeit des Gährungsprocesses von dem Leben der Hefezelle stimmt diese Lehre vollständig mit der vitalistischen Theorie überein; sie sucht nur die Art und Weise näher zu definiren, durch welche die lebende Zelle die Spaltung der vergärenden oder faulenden Substanz bewirkt. Es wird später nochmals darauf zurückzukommen sein, welche Speculationen in dieser Richtung möglich sind; dass aber speciell die Annahme einer Bildung von löslichem Ferment nicht über das Niveau der Speculation sich erhebt, geht schon daraus hervor, dass bisher von einer Isolirung und Abtrennung des vermutheten Ferments aus der Hefezelle noch nicht die Rede sein konnte und dass dies Misslingen dadurch entschuldigt wird, dass eben das Ferment mit dem Tode oder sogar schon mit der Störung des Lebens der Hefezelle sofort vernichtet werde.

Als Ergebniss der vorstehenden Betrachtung über die historische Entwicklung der Lehre von der Gährung und Fäulniss ist daher die vollkommene Sicherstellung der Thatsache zu bezeichnen, dass kleinste lebende Organismen die directe Ursache der gewöhnlich unter dem Namen Gährung und Fäulniss zusammengefassten Zersetzungs Vorgänge sind, und dass eben diese Zersetzungs Vorgänge im unmittelbarsten Abhängigkeitsverhältniss stehen zu den Lebensäusserungen jener Organismen.

## II. Mikroorganismen als parasitäre Krankheitserreger.

Schon in einer frühen Epoche der wissenschaftlichen Beobachtung und Erforschung der Infectiouskrankheiten taucht der Glaube auf, dass ein mit vitalen Eigenschaften begabtes Etwas, ein *contagium animatum*, die unmittelbare Ursache dieser verheerenden Krankheiten sei. Deutlich findet sich diese Ueberzeugung bei HUFELAND ausgesprochen; doch knüpften sich zunächst an diesen leitenden Gedanken allerlei phantastische Vorstellungen über die nähere Beschaffenheit und die Wirkungsweise des fraglichen, mit Lebenseigenschaften begabten Etwas. Aber bald schält sich aus dem Gewirr derartiger Phantasieen die bestimmte Ansicht heraus, dass die Uebertragung der Infectiouskrankheiten auf der Ansiedelung selbständiger kleinster Organismen beruhe (KIRCHER, LINNÉ, WICHMANN u. A.). In der That lag ja ein Zurückführen der charakteristischen Erscheinungen im Auftreten der Infectiouskrankheiten auf solche Organismen, und eine gewisse Parallele dieser Krankheiten mit den ebenfalls auf Organismen zurückgeführten Gährungs- und Fäulnissprocessen ausserordentlich nahe. Das plötzliche Auftreten der Seuchen an verschiedenen, isolirten Orten, ihre relativ langsame Verbreitung und ihr oft zähes Haften innerhalb einer Lokalität musste den Gedanken an ein flüchtiges, gasförmiges Agens ausschliessen. Die Art der Uebertragung, die unbegrenzte Fortentwicklung des Infectiousstoffs durch eine grosse Reihe von Individuen hindurch; die theilweise Verschleppbarkeit des Infectiousstoffs auf weite Strecken, sein Haften an den heterogensten Objecten; ferner das Latenzstadium, der typische, cyclische Verlauf der Krankheit, die nachfolgende Immunität — wiesen mehr oder minder deutlich auf organisirte Krankheitserreger hin und fanden ihre Erklärung in dem Entwicklungsgange solcher vermutheter kleinster Lebewesen. Wie gern dabei eine Anlehnung an die Erscheinungen bei der Gährung und Fäulniss versucht wurde, geht schon daraus hervor, dass die ganze Klasse der Infectiouskrankheiten von einigen Pathologen als „zymotische Krankheiten“ bezeichnet wurden.

Freilich beruhten diese Anschauungen, die seit über 40 Jahren fortwährend an Terrain gewinnen, Anfangs nicht auf klarer Erkenntniss und entbehrten der experimentellen Begründung. Sie hatten nur Speculationen als Grundlage — aber diese Speculationen wurden mit solchem Scharfsinn und solcher Logik angestellt, dass sie fast zu denselben Resultaten gelangten, die 40 Jahre später durch umfangreiche experimentelle Forschungen festgestellt wurden. Namentlich war es HENLE, der bereits im Jahre 1840 in seinen „pathologischen

Untersuchungen“ und dann später 1853 in seinem „Handbuch der rationellen Pathologie“ mit bewundernswerther Präcision das Verhältniss der Mikroorganismen zu den Infectionskrankheiten skizzirte, und die nähere Qualität, die Lebenseigenschaften und Wirkungen der Organismen, sowie die Abhängigkeit der einzelnen Phasen und Symptome der betreffenden Krankheiten von dem Verhalten der Organismen fast genau so definirte, wie dies nachträglich auf Grund directer Beobachtungen mit damals noch nicht gekannten optischen Hilfsmitteln und auf Grund zahlreicher Experimente geschah. Der maassgebende Einfluss, den die HENLE'schen Darstellungen auf die weitere Entwicklung der Lehre von den parasitären Krankheitserregern gehabt haben, erfordert es, dass an dieser Stelle einige der wesentlichsten Anschauungen HENLE's mit den eigenen Worten des Autors wiedergegeben werden:

„Ist durch eine zureichende Erfahrung erwiesen, dass zwischen gewissen Parasiten und gewissen Krankheitssymptomen eine wirkliche Beziehung besteht, so bleibt zu entscheiden, ob der Parasit die Ursache des Krankheitssymptoms sei, oder ob die krankhafte Veränderung den Parasiten gleichsam anziehe, indem sie ihm den Organismus wohnlich macht. So haben ja noch in unseren Tagen Manche die Krätzmilbe als ein Insect angesehen, welches gleichsam dem Krätzcontagium nachziehe und mit Vorliebe die krätzigen Körper aufsuche, etwa wie die Käsemilbe den faulenden Käse. Die Wahl zwischen jenen beiden Erklärungen ist nicht immer leicht zu treffen und wir begegnen an manchen Punkten einer ähnlichen Controverse, wie sie auf einem verwandten Gebiet, in Betreff der Gährung und Fäulniss, noch immer geführt wird. Den Ausschlag muss das Experiment geben. Wir sind zu dem Schluss gekommen, dass die weingeistige Gährung und die Fäulniss von den Pilzen und Infusorien, die in den gährenden und faulenden Substanzen sich entwickeln, eingeleitet und unterhalten werden, weil sich jene Processe in den geeigneten Flüssigkeiten jeden Augenblick mittelst Uebertragung der Pilze und Infusorien in Gang bringen, sowie durch Ausschliessung der letzteren aufhalten lassen, und dies positive Resultat der an der eben erwähnten früheren Stelle aufgezählten Versuche kann weder damit entkräftet werden, dass wir die Art der Einwirkung der Pilze und Infusorien näher anzugeben nicht vermögen, noch auch damit, dass es andere Arten von Zersetzung organischer Materie giebt, welche ohne die Concurrenz lebender Thier- oder Pflanzenorganismen zu Stande zu kommen scheinen. So ist also auch der Parasit, dem wir auf einem kranken Körper begegnen, als Ursache derjenigen Krankheitserscheinungen zu betrachten, welche mit der Uebertragung des Parasiten hervorgerufen und mit der Entfernung desselben beseitigt werden. Lässt sich ausserdem noch nach dem gegenwärtigen Stand unseres physiologischen Wissens ein Zusammenhang nachweisen zwischen den Kräften und Lebensthätigkeiten des Parasiten und den Krankheitserscheinungen, welche sein Dasein verrathen, so werden wir das Resultat jener Versuche um so williger anerkennen.



Die Krankheiten, die ein Parasit erzeugt und die durch zufällige oder absichtliche Ueberpflanzung des Parasiten mitgetheilt werden, sind eben dadurch ansteckend oder contagiös; der specifische Parasit ist der Ansteckungsstoff oder das Contagium dieser Krankheiten. Zwar ist der Name und Begriff der Contagien ursprünglich nicht für diese klare Art von Mittheilung geschaffen, sondern für die Mittheilung gewisser Krankheiten durch eine räthselhafte und, wie man meinte, aus dem erkrankten Körper selbst producirte Materie, die man eher, insbesondere wegen ihrer im Verhältniss zur Menge des angewandten Stoffes mächtigen Wirkungen, den Giften an die Seite stellen zu müssen glaubte. Es ist deshalb von vielen Seiten eine förmliche Art von Verwahrung eingelegt worden gegen die Vermischung der durch Parasiten erzeugten und mittelst derselben übertragbaren Krankheitszustände mit den contagiösen Krankheiten der eben genannten mysteriösen Art. Dies ging so weit, dass man jede Krankheit, als deren Ursache bis dahin ein Contagium (im Sinne der Schule) gegolten hatte, aus der Reihe der contagiösen zu entfernen gebot, sobald eine sorgfältigere oder mit verbesserten Hilfsmitteln angestellte Untersuchung in dem Contagium ein belebtes, also parasitisches Wesen entdeckte. So bildete man sich ein, die Lehre von den contagiösen Krankheiten vor Verwirrung zu bewahren. Ich bin fest überzeugt, dass dies vielmehr der Weg ist, diese Lehre zu ewiger Dunkelheit zu verdammen. Es klingt freilich fremdartig, von achtbeinigen oder zweizölligen Contagien zu hören. Allein diejenigen, welche hieran Anstoss nehmen, sollten erwägen, dass diese Schwierigkeit eine freiwillig geschaffene ist, die ebenso freiwillig dadurch aus dem Wege geräumt werden kann, dass man die Bedeutung der Wörter dem erweiterten Inhalte unseres Wissens von den mit denselben zu bezeichnenden Dingen anpasst. Thatsächlich ist das Wort Contagium erfunden, um etwas Materielles zu bezeichnen, das, in oder auf einem lebenden Individuum bereitet, den Krankheitsprocess, welchen dies Individuum durchmacht, auf ein anderes Individuum überträgt. Damit ist zugleich die Contagion scharf von der einfachen Uebermittlung irgend welcher Krankheitsursache geschieden; denn das Strychnin, welches man etwa mittelst des Blutes eines vergifteten Thieres einem anderen Thiere injiciren würde, der Pfeil, welcher, nachdem er ein Individuum durchdrungen, noch ein zweites verwundet, die Wespe, welche sich von einem Körper entfernt, um noch einen zu stechen — alles dies sind keine in oder auf dem kranken Leibe bereitete Schädlichkeiten. Jenes Materielle nun erweist sich in einem Falle als ein Thier, welches auf dem Kranken gezeugt wurde, in einem anderen Falle als Samen einer Pflanze, die auf dem ansteckenden Individuum gewachsen ist; in vielen Fällen will es uns weder eine Form, noch auch nur eine besondere chemische Zusammensetzung offenbaren; es erscheint flüssig, luftförmig, unfassbar. Manche Contagien sind im Laufe der Zeiten aus der letzteren Kategorie in eine der ersten übergegangen. Macht es nicht den Eindruck einer sogenannten „guten Ausrede“, wenn man, nachdem man sich aufs Aeusserste gesträubt, in der Milbe das Contagium der Krätze zu erkennen, nunmehr, überführt, zu der Behauptung flüchtet, die Krätze sei nicht zu den contagiösen Krankheiten zu zählen? Man wird sich hüten müssen, das, was man von dem Contagium einer Krankheit



erfahren, ohne weitere Prüfung auf andere auszudehnen; man wird mit besonderer Vorsicht zu untersuchen haben, ob die parasitischen Bildungen, die sich im Laufe einer contagiösen Krankheit entwickeln, die wirklichen Ursachen der Krankheit oder nur zufällige Gäste des kranken Körpers sind. Aber es wäre ein Missgriff, wenn wir uns bei Erforschung der contagiösen Processe der Aufschlüsse begeben wollten, welche gerade aus den Krankheiten, deren Contagium genau und vollständig gekannt ist, zu gewinnen sind.“

„Verfolgen wir die Miasma-Contagien in ihren Wirkungen auf den thierischen Organismus, so treffen wir bei manchen Verschiedenheiten im Einzelnen zuerst auf eine allgemeine und charakteristische Eigenschaft, welche nur der lebenden Materie zugeschrieben werden kann, das Vermögen nämlich, sich auf Kosten und durch Assimilation fremder organischer Substanz zu multipliciren. Den Schluss, welcher sich hieraus ergibt, unterstützt die grosse Mehrzahl der miasmatisch-contagiösen Krankheiten durch ihren Verlauf. Sie gehören zu der Gruppe von Krankheiten, die ich wesentlich typische genannt habe, deren scharf begrenzte Stadien auf eine zeitlich gesetzmässige Entwicklung der Ursache deuten, wie sie nur im Reich des Lebendigen gefunden wird.

Zwar gilt von der Vermehrung der Contagien durch Assimilation dasselbe, was oben von den Eigenschaften der Ursache miasmatisch-contagiöser Krankheiten im Allgemeinen bemerkt wurde: streng beweisbar ist sie nur bei den impfbaren Krankheiten, wo sowohl die Stelle der Aufnahme, als das Quantum des aufgenommenen Stoffes genau bestimmt werden kann, und der Beweis wird um so unzulänglicher, je mehr in einer Epidemie die Zahl der durch Miasma erzeugten Fälle gegen die contagiös entstandenen überwiegt. Mit Wahrscheinlichkeit lässt sich indess die Vermehrung der Krankheitsursache am Orte der Epidemie annehmen, so oft die letztere aus kleinen Anfängen allmählich zu grösserer Ausdehnung gelangt.

Erst dadurch, dass ihre Entwicklung und Wiedererzeugung auf dem kranken Körper constatirt ist, rechtfertigt sich die Einreihung der Materie, welche epidemische Krankheiten erzeugt, unter den Begriff des Contagium, und hiermit sogleich springt die Analogie dieser Contagien mit Parasiten, die Analogie der miasmatisch-contagiösen Krankheiten mit den am Schlusse des vorigen Abschnittes abgehandelten Folgen der Niederlassung parasitischer Organismen auf lebenden Körpern in die Augen. Diese Analogie hat, wie ich oben erwähnte, darauf geführt, Parasiten als Ursache mancher vordem schlechthin sogenannten contagiösen Krankheiten zu entdecken. Eine Anzahl Krankheiten ist übrig geblieben, in deren Contagium sich nichts findet, was an die Formen bekannter Thier- und Pflanzenspecies erinnerte. Indess ist dies negative Resultat der Untersuchung nicht so sicher, dass dadurch die Zusammenstellung der Contagien mit jenen mikroskopischen Parasiten entschieden abgewiesen werden könnte. Es ist nicht nöthig, zu der Ausflucht zu greifen, dass die Organismen, die als Contagium wirken, für unsere optischen Hilfsmittel zu klein wären. Aber die kleinsten Thiere sind nur durch ihre Bewegungen, die niedersten Pflanzen nur in gewissen Entwicklungszuständen durch die Anordnung der Elementartheile von den Zellen, Kernen und Körn-

chen zu unterscheiden, die in so vielen Geweben und Excreten, namentlich auch im Eiter vorkommen. Die Kügelchen, aus welchen die *Botrylis bassiana* besteht, verhalten sich ganz wie Pigmentkügelchen und wie die Moleküle des Eiters. Es könnten also immer unter den Molekülen, die in jedem mikroskopischen Object wiederkehren, Körper von sehr verschiedener und von hoher Bedeutung versteckt sein. Es braucht kaum hinzugefügt zu werden, dass diese Reflexionen für jetzt nur zu einer hypothetischen Anschauung führen sollen, aber überflüssig sind sie nicht, selbst für die Fälle, wo man thierische oder pflanzliche Parasiten in dem Contagium entdeckt hat oder noch entdecken wird. Denn immer bleibt dann noch die Frage zu beantworten, ob der Parasit ein zufälliger Bewohner des Contagium und des kranken Körpers oder der wesentlich wirksame Bestandtheil des ersteren sei. Manches ist schon jetzt durch jene Vorstellung gewonnen, was, wenn sie selbst vielleicht nur einen Durchgangspunkt unserer Erkenntniss darstellen sollte, sich als dauernder Erwerb bewähren wird. An die Stelle der unverständlichen Ansicht, dass der erkrankte Leib oder die Krankheit Ansteckungsstoff bilde, ist die Einsicht getreten, dass die Bildung des Contagium ein Reproductionsprocess, die Krankheit Folge ist der Reproduction dieses Fremdartigen auf dem Organismus und auf dessen Kosten. Von diesem Standpunkte aus sind die Symptome der miasmatisch-contagiösen Krankheiten zu deuten.“

„Wenn die Ursache der miasmatisch-contagiösen Krankheiten für eine mit individuellem Leben begabte Materie zu halten ist, die sich nach Art der Thiere und Pflanzen reproduciren, durch Assimilation organischer Stoffe vermehren kann und, parasitisch auf dem infectirten Körper wuchernd, die Symptome der besondern Krankheit hervorruft: so entsteht die Frage, wie der bis jetzt noch ungesehene Leib dieses Parasiten beschaffen sei, dessen Lebensäusserungen sich so deutlich und verheerend zu erkennen geben. Es liegt in den Gesetzen der menschlichen Phantasie, dass man dem Contagium, wenn man es einmal für etwas Lebendiges hielt, eine von den Formen zuschreiben musste, welche die bekannte organische Welt unseren Sinnen darbietet; darum rief man auf Insecten in der früheren kindlichen Zeit der Naturforschung, und als die mikroskopischen Thiere entdeckt waren, konnten mit noch besserem Recht die Infusorien beschuldigt werden, Contagium und Miasma zu sein. Jetzt, nach den Aufschlüssen über den Pilz der Muscardine und ähnlicher Krankheiten, liegt es noch näher, das Contagium sich mit einem vegetabilischen Leib zu denken, da die grosse Verbreitung, die rasche Vermehrung und die Lebensfähigkeit der niederen mikroskopischen Pflanzenwelt, sowie selbst die Art ihrer Einwirkung auf den Körper, den sie zur Keimstätte erwählt haben, in der That die merkwürdigsten Analogien mit dem Ansteckungsstoff der miasmatisch-contagiösen Krankheiten zeigt. Auch die Muscardine entsteht in stockendem Moos scheinbar selbständig, wie durch Miasma; unter Hitze und Trockenheit wird sie epidemisch und contagiös. Gegen die Abnahme der Epidemie mindert und verliert sich ihre Contagiosität. Strömungen der Luft tragen das Contagium auf weite Strecken umher, so dass die Krankheit an einem anderen Orte wieder mit einem Anschein einer miasmatischen auftreten kann. Das Contagium ist luftförmig und zugleich fix. Es behält im trockenen Zustand jahrelang seine Kraft. Ein

unwägbares und unmessbares Quantum desselben reicht hin, die Krankheit bis zur verheerendsten Epidemie zu entwickeln.“

Thatsächliche Unterlagen für die Lehre von der Krankheitserzeugung durch Mikroorganismen wurden zunächst durch die Beobachtung einer Reihe von Pflanzen- und Insectenkrankheiten gewonnen. Schon 1835 stellte BASSI als Ursache der Muscardine, einer tödtlichen Krankheit der Seidenraupen, einen Pilz fest; andere Insectenkrankheiten wurden bald auf ähnliche Pilze mit aller Sicherheit zurückgeführt; ebenso wurden von TULASNE, DE BARY und KÜHN eine Reihe von verheerenden Krankheiten der Getreidearten, der Kartoffel etc. durch das Eindringen und den Parasitismus von Pilzen erklärt. — Auch bei höheren Thieren und beim Menschen glückte bald der positive Nachweis kleinster pflanzlicher Gebilde als Ursache gewisser Krankheiten. Abgesehen von zahlreichen Pilzfunden, die nicht sicher als Ursache der begleitenden Krankheiten constatirt werden konnten, liessen sich Favus, Soor und verschiedene Hautaffectionen auf den Einfluss parasitärer mikroskopischer Pilze zurückführen. Von ganz besonderer Bedeutung war aber die Entdeckung, dass die Milzbrandkrankheit charakterisirt ist durch das Auftreten kleinster stäbchenförmiger Organismen im Blut und dass sich diese Organismen experimentell als die Erreger des Milzbrandes erweisen lassen (POLLENDER 1855, DAVAINÉ 1863).

Einerseits das immer häufigere Auftreten schwerer Seuchen, die den Wunsch nach Lösung der ätiologischen Fragen dringender werden liessen; andererseits das Zusammenwirken der überzeugenden Deductionen HENLE's, der zahlreichen Analogien bei Pflanzen- und Thierkrankheiten und der Auffindung des Milzbrandcontagiums — veranlassten nun zunächst eine Periode der Forschung, welche sich durch einen gewissen Uebereifer charakterisirt und mangelhaft bewiesene Entdeckungen in grosser Zahl zeitigt, durch welche der parasitären Lehre wirklicher Nutzen nicht gebracht wurde.

Namentlich war es HALLIER, der als zu begeisterter Apostel der parasitären Theorie auftrat. Auf Grund zahlreicher Versuche behauptete er, dass die verschiedenen Mikroorganismen nur besondere, durch die äusseren Lebensbedingungen entstandene Vegetationsformen bekannter Schimmelpilze seien; dass diese Vegetationsformen allerlei Krankheiten erzeugen, dass man aber aus ihnen unter geeigneten Bedingungen stets wieder den zugehörigen Schimmelpilz züchten und auf diese Weise die eigentliche Ursache der Krankheit darlegen könne. Durch Untersuchung und Cultur der verschiedensten krankenhaften Organe und Excrete erhielt HALLIER eine Reihe verschiedener



Pilze, die er als Ursachen der Krankheiten proclamirte; und in kurzer Zeit waren Scharlach, Masern ebensowohl wie Cholera, Typhus und alle sonst interessirenden Krankheiten auf ihre vermeintliche Ursache zurückgeführt.

Der Rückschlag auf diese Periode der phantastischen Uebertreibungen war unausbleiblich. Pilzkenner wie DE BARY zeigten, dass die HALLIER'schen Untersuchungen ganz werthlos seien, weil sie mit völlig ungenügenden Vorsichtsmassregeln gegen das Eindringen beliebiger fremder Pilze angestellt wurden. Die Einwände DE BARY's konnten nicht widerlegt werden, das Gebäude der HALLIER'schen parasitären Krankheiten stürzte zusammen, und damit war zugleich der ganzen parasitären Lehre ein empfindlicher Stoss versetzt; noch bis auf den heutigen Tag finden sich Stimmen, welche durch die Beseitigung jener Irrthümer auch die Krankheitserregung durch Organismen überhaupt für widerlegt und unannehmbar geworden erachten.

Weitere positive Parasitenfunde jedoch, die in den nächsten Jahren von zahlreichen Forschern gemacht wurden, waren geeignet, das verlorene Vertrauen wiederherzustellen. Dieselben betrafen zunächst und vorzugsweise die Wundinfektionskrankheiten; RINDFLEISCH, WALDEYER und VON RECKLINGHAUSEN (1866, 1870) waren die Ersten, welche die Aufmerksamkeit auf die bei pyämischen Processen vorkommenden kleinsten Organismen lenkten; weitere derartige Beobachtungen wurden bei Erysipel, bei der Phlegmone, bei Diphtheritis, beim Puerperalfieber gemacht (HÜTER, ORTH, OERTEL u. A.). Durch zahlreichste Experimente am Thier wurde die pathogene Natur der gefundenen Mikroorganismen bestätigt (COZE und FELTZ, DAVAINÉ, HÜTER, EBERTH, LEBER, FRISCH, KLEBS u. A. 207 ff.).

Von bedeutendstem Einfluss auf die Anerkennung der parasitären Theorie waren ferner die eclatanten Resultate der LISTER'schen antiseptischen Wundbehandlung (27); hervorgegangen aus der bestimmten Tendenz, die Wirkung der infectiösen Organismen zu verhindern oder zu hemmen, und eben durch diese Berücksichtigung der organisirten Krankheitserreger von überraschenden Erfolgen begleitet, trug sie die Kenntniss und Würdigung der Mikroparasiten in die weitesten Kreise, und von Jahr zu Jahr minderte sich die Zahl der Skeptiker und Gegner. — Freilich bedingte es die Schwierigkeit des Untersuchungsobjects, welche nur langsamsten, dem lebhaften Streben nach rascher Aufklärung wenig genügenden Fortschritt ermöglichte, dass in der Folge noch oft die Grenzen der exacten Forschung überschritten und zu weitgehende Speculationen mit den Versuchseresul-



taten verknüpft wurden; es war natürlich und verzeinnich, dass zuweilen aus dem einfachen Vorkommen von Mikroorganismen in Leichentheilen oder in pathologischen Secreten Schlüsse auf den Ursprung der Krankheiten gezogen, und dass somit zuweilen fälschlich oder voreilig Organismen als Krankheitserreger proclamirt wurden (so in einigen Beobachtungen von KLEBS, in den neueren Funden PASTEUR's). Aber im Gegensatz dazu erkannten viele Forscher, dass vor Allem erst durch ein detaillirtes Studium der verschiedenen zur Beobachtung gelangenden Mikroorganismenformen, durch das Erforschen ihrer Lebensbedingungen und Lebensäusserungen, durch ausgebildete Methoden zu ihrer mikroskopischen Beobachtung und durch fehlerfreies Experimentiren am Thier die Unterlagen gewonnen werden müssen, auf denen eine genauere und sichere Einsicht in die Rolle der parasitären Krankheitserreger erwachsen kann. Und auf der Grundlage dieser Erkenntniss erstanden die neueren mykologischen Untersuchungsweisen; KLEBS' Methode der fractionirten Cultur der Organismen, COHN's systematische Züchtungen, KOCH's Methoden zur Reincultur und zur mikroskopischen Untersuchung, NÄGELI's Forschungen über Lebensbedingungen und Stoffwechsel der Organismen, BREFELD's Beiträge zur methodischen Untersuchung der Pilze mussten voraufgehen, ehe es gelingen konnte, zu exacten, eindeutigen Resultaten zu gelangen.

Die Einwände, welche gegen die parasitäre Theorie erhoben sind, stammen fast durchweg aus früherer Zeit und werden neuerdings kaum mehr gehört. Abgesehen von den Ansichten einiger hartnäckiger Gegner, die nur den abweichenden Resultaten ihrer eigenen Experimente glaubten, betrafen die gegen die neueren Arbeiten auf dem Gebiet der Parasitenlehre erhobenen Bedenken lediglich einzelne Fälle und specielle Krankheiten. So wurde namentlich lange versucht, die Mikroorganismen als Erreger der Wundinfectionskrankheiten zu leugnen, und es gelang auch, nachzuweisen, dass nach mechanischer Entfernung der Organismen aus infectiösen Flüssigkeiten das organismenfreie Filtrat pathogene Wirkung ausübe; aber genauere Versuche ergaben, dass diese Wirkung lediglich auf einer Intoxication, auf einem gelösten Gifte beruhe und in keiner Weise mit der Infectionskrankheit zusammenfalle (PANUM, HILLER, KOCH u. A.) — Besondere Beachtung haben die abweichenden Resultate der BILLROTH'schen Untersuchungen gefunden; derselbe constatirte mehrfach bei subcutanen Eiterungen, ohne äussere Verletzung, Mikroorganismen; ebenso fand er letztere in lebenden Organen; er schloss daher, dass im Körper stets Keime enthalten sind, dass diese

aber nicht die Fähigkeit haben, sich im gesunden Körper zu entwickeln und die Gewebe des lebenden Körpers als Nährmaterial zu benutzen. Erst wenn durch Zersetzung ein „phlogistisches Zymoid“ entstanden ist, das auch allein für sich Entzündungen veranlassen kann, ist Mikroorganismen Gelegenheit zur Entwicklung und Vermehrung gegeben; und unter geeigneten Verhältnissen können diese dann Träger und Vermehrer des zymoiden Körpers sein. (Ueber die Abstammung der betreffenden Organismen von einer Pflanze, *Coccobacteria septica*, s. unten.)

Die Widerlegung der BILLROTH'schen Einwendungen gelingt heute leicht. Zunächst weiss man, dass im normalen lebenden Organismus keine Bakterienkeime vorkommen, und dass reichliche Funde von Organismen im erkrankten lebenden Körper nur auf das Eindringen von aussen, auf eine Infection zurückzuführen sind. Immerhin könnte man indess Anstand nehmen, die an thierischen Organismen mit aller Sicherheit constatirte Thatsache des Freiseins von präexistirenden Keimen ohne weiteres auf den Menschen zu übertragen, und es müssen daher womöglich noch weitere experimentelle Belege zu Hülfe kommen, aus denen unwiderleglich hervorgeht, dass für gewisse Krankheiten Mikroorganismen die directe, einzige Ursache, und nicht etwa zufällige Begleiter anderer schädlicher Stoffe sind.

Dahin zielende Experimente stellte man früher wohl in der Weise an, dass man Impfungen mit infectiösen Substanzen versuchte, dabei aber die Organismen von anhaftenden anderen Stoffen zu befreien strebte, welche bezüglich der Krankheitserregung mit jenen etwa in Concurrenz treten konnten. Man suchte die Organismen zu isoliren durch Ueberschichten mit destillirtem Wasser, in welchem die Organismen zu Boden sinken sollten, oder durch Filtration; dabei aber war es immer fraglich, ob die etwaigen gelösten schädlichen Stoffe wirklich entfernt und ob andererseits nicht die Organismen durch das Auswaschen und zu starke Exosmose geschädigt wurden. Auch eine Filtration im lebenden Körper, dadurch dass man das Verhalten des Fötus gegenüber dem infectirten mütterlichen Organismus studirte, führte nicht zum Ziele, da nur bei gewissen Krankheiten (Milzbrand) ein Freibleiben des Fötus constatirt wurde, während in anderen Fällen die Infection auf die Frucht übergrieff.

Sodann suchte man durch Verdünnung des Infectionsmaterials zu einer Entscheidung zu gelangen, in der unzweifelhaft richtigen Voraussetzung, dass nur ein auf einem lebenden vermehrungsfähigen Organismus beruhendes Contagium in weitgehendster Weise verdünnt werden könne, ohne an Wirksamkeit zu verlieren. Eine solche Ver-

dünnung war im Grunde schon dann gegeben, wenn es gelang, von einem inficirten Thiere aus ein anderes, von diesem ein drittes und so fort durch eine ganze Reihe von Versuchsthieren mit der bestimmten Krankheit zu impfen; indess war hier immer noch der Einwand möglich, dass die Körperzellen sich vielleicht an der Regenerirung des Giftes betheiligen.

Dagegen muss jeder Zweifel über die krankheitserregende Eigenschaft der Mikroorganismen aufhören, nachdem in den letzten Jahren gezeigt ist, dass ausserhalb des Körpers die colossalste Verdünnung des Infectionsmaterials statthaben kann, ohne dass dasselbe an Wirksamkeit verliert. So konnte KOCH infectiöses Blut direct so weit verdünnen, dass dem Versuchsthier nur 1 Milliontel Cubikcentimeter eingespritzt wurde; diese Menge hatte dann denselben Erfolg, erzeugte dieselbe typische, nach 18 Stunden tödtliche Krankheit wie die Injection unverdünnten Blutes. — Die Verdünnung kann aber, ohne den Erfolg zu schädigen, noch viel weiter getrieben werden, nach folgender Methode: PASTEUR und KLEBS haben zuerst gelehrt, die als pathogen verdächtigen Mikroorganismen auf künstlich hergerichteten Nährmaterial zu züchten, dann, nach dem Heranwachsen einer Cultur von dieser eine minimale Menge auf neues intactes Nährmaterial zu übertragen; von der dort entwickelten Colonie eine Spur auf einen dritten Nährboden zu impfen und so fort in „fractionirter Cultur“ den Mikroorganismus zu züchten. KOCH hat neuerdings Methoden gefunden, mittelst deren solche Culturen sicher rein erhalten bleiben, ohne dass eine Verunreinigung von aussen hineingelangt. — Ist nun in solcher Weise ein Pilz durch 50 oder 100 Generationen hindurch gezüchtet, so enthält die letzte Generation selbstverständlich gar nichts mehr von den Stoffen, die den anfänglichen Mikroorganismen angehörten; es ist leicht zu berechnen, dass die Verdünnung nach Trilliontel zählen und schliesslich ins Unberechenbare gehen muss; ein ursprünglich beigemengter Giftstoff, und mag er noch so intensiv an Wirkung sein, kann in der letzten Cultur nicht mehr in merkbarer Menge vorhanden sein, sondern wenn mit dieser eine Infection erzeugt wird, so ist das nur dadurch möglich, dass die Mikroorganismen selbst, die sich auf Kosten des Nährmaterials immer wieder neu reproduciren, die wirksame Schädlichkeit ausmachen.

In der That gelingen nun die Impfungen mit der kleinsten Menge der hundertsten rein gezüchteten Cultur genau so gut wie mit dem ursprünglichen Material. Bei Milzbrand, bei verschiedenen Formen von Septicämie konnte KOCH Reinculturen in beliebig langer Reihe fortführen; übertrug er eine Spur der letzten Züchtung auf ein Ver-

suchsthier, so trat nach dem typischen Incubationsstadium die entsprechende Krankheit mit allen ihren charakteristischen Symptomen auf; nach bestimmter Zeit erfolgte der Tod; das Sectionsergebniss war stets das gleiche; im Blut und in den Geweben fanden sich in enormer Zahl Organismen von der Gestalt und dem Verhalten der geimpften; und Spuren des organismenhaltigen Blutes etc. erzeugten, auf ein anderes Versuchsthier überimpft, in diesem dieselbe tödtliche Affection.

Für die genannten Krankheiten ist somit die causale Beziehung der Mikroorganismen vollkommen sicher erwiesen; und es liegt nahe, von jenen aus auf die mannigfachen anderen Infectionskrankheiten zu schliessen, die sich den erkannten Krankheiten ähnlich verhalten. Dennoch wird es zweckmässig und der Entwicklung der Lehre von den Mikroparasiten nur förderlich sein, wenn man in der Folge mit grösster Vorsicht zu Werke geht, Verallgemeinerungen vermeidet, und nur dann eine Krankheit als parasitäre proclamirt, wenn es gelingt, morphologisch gut charakterisirte Mikroorganismen aufzufinden, diese ferner in solcher Menge und Vertheilung nachzuweisen, dass alle Krankheitserscheinungen dadurch Erklärung finden, und dieselben wo möglich auf andere höhere Organismen derart zu übertragen, dass die geringste Menge wiederum das charakteristische Krankheitsbild hervorruft.

Das häufige Auftreten kleinster Organismen in der Rolle als parasitäre Krankheitserreger steht somit ausser Frage. Wenn jetzt noch unter denjenigen Forschern, welche sich um die Aetiologie der Infectionskrankheiten bemühen, Streitfragen zum Austrag kommen, so betreffen diese nicht mehr die Berechtigung der parasitären Theorie an sich, sondern speciellere Punkte: z. B. ob wir spezifische Formen zu unterscheiden haben, die durch constante morphologische oder physiologische Eigenschaften ausgezeichnet sind, oder ob eine allmähliche Umwaundlung der Organismen unter dem Einfluss äusserer Bedingungen vor sich geht — Fragen, welche in den folgenden Capiteln ausführlicher berührt werden müssen.

Aus der vorstehenden Uebersicht ergibt sich, welch' bedeutendes und vielseitiges Interesse die Hygiene an den Mikroorganismen zu nehmen hat. Waren es doch die Vorgänge der Gährung und Fäulniss organischer Substanzen in unserer Umgebung, welche zuerst Unbehagen und Misstrauen erweckt und hygienische Bestrebungen ins Leben gerufen haben; und besteht doch die wesentlichste, wenn auch schwierigste Aufgabe für die hygienische Durchforschung



des Bodens, des Wassers, der Luft und der Wohnung in der Ermittlung derjenigen Umstände, welche die Entwicklung und Verbreitung von Krankheitserregern begünstigen können.

Die Lehre von diesen vielseitig interessanten Mikroorganismen in ihrer jetzigen Gestalt, soweit sie das gesammte Gebiet der Hygiene betrifft, bildet das Thema der folgenden Capitel, in welchen zunächst die Morphologie der bisher bekannten Mikroorganismen, dann die Lebenserscheinungen derselben, endlich die Methoden, welche zu ihrer Untersuchung dienen, erörtert werden sollen.

---

## ZWEITER ABSCHNITT.

### Morphologie und Systematik der Mikroorganismen.

---

Die Mikroorganismen, welche als Gährungs- oder Krankheitserreger in Betracht kommen, gehören fast durchweg zu den niederen Pilzen; einige Formen sind als niedere Algen zu bezeichnen oder sind in ihrer Zugehörigkeit zu der einen oder anderen Klasse zweifelhaft. Gewisse krankheitserregende Mikroorganismen sind vielleicht den mundlosen Monaden zuzurechnen, oder in keiner der jetzt üblichen Abtheilungen mit Sicherheit unterzubringen und daher einstweilen nur anhangsweise zu besprechen.

Im Wesentlichen handelt es sich nur um niedere Pilze und einige Algen, und es wird daher nächste Aufgabe sein, diejenigen Formen von Pilzen und Algen systematisch zusammenzustellen und zu beschreiben, welche hygienisches Interesse beanspruchen. — Als Grundlage der folgenden Darstellung wurde die vortreffliche FRANK'sche Bearbeitung der Kryptogamen in LEUNIS' Synopsis der Pflanzenkunde, auf welche bezüglich aller weiteren Ausführungen hiermit verwiesen sei, benutzt; an verschiedenen Stellen ausserdem RABENHORST's Kryptogamenflora, bearbeitet von WINTER, 1. Lieferung, und EIDAM's Mykologie (17).

---

Die Pilze und Algen bilden eine Unterabtheilung der Kryptogamen, der grossen Gruppe von Pflanzen, welche sich dadurch charakterisiren, dass sie keine Samen erzeugen, an welchen verschiedene den zukünftigen Pflanzentheilen entsprechende Theile unter-

scheidbar sind, sondern nur Sporen, d. h. sehr kleine Zellen, die häufig auch in Mehrzahl producirt werden, dann aber stets unter sich gleichartig sind; ferner zeichnen sie sich dadurch aus, dass ihnen die Blüthen fehlen, die bei den Phanerogamen zur Erzeugung des Samens dienen.

Unter den Kryptogamen unterscheidet man zwei grössere Klassen, die Thallophyten oder Laubpflanzen, und die stammbildenden Kryptogamen, *Cryptogamae foliosae*. Bei den ersteren weicht die Körperform durchaus ab von den für die echten Stämme charakteristischen Wachsthumsgesetzen; es wird ein Laub, Thallus, gebildet, das sich mit Stamm und Wurzeln der Phanerogamen gar nicht vergleichen lässt. Bei den stammbildenden Kryptogamen entsteht zwar zunächst ebenfalls ein thallusartiges Gebilde, der sogenannte Vorkeim; weiterhin aber differenziren sich Stengel, Blätter und meistens auch echte Wurzeln.

Bei jeder dieser Gruppen unterscheidet man fernere Unterabtheilungen, die in der folgenden Uebersicht zusammengestellt sind:

### *I. Thallophytae.*

- A. *Mycetes*, Pilze. Chlorophylllose Zellen; ernähren sich von vorgebildeten organischen Verbindungen; bewohnen in Zersetzung begriffene organische Substanzen oder schmarotzen auf lebenden Thieren und Pflanzen.
- B. *Algae*, Algen. Chlorophyllhaltige Zellen; vermögen sich von anorganischen Stoffen zu nähren; leben meist im Wasser.
- C. *Lichenes*, Flechten. Chlorophyllhaltige und chlorophylllose Zellen; können von anorganischen Stoffen sich nähren; leben meist an der Luft.

### *II. Cryptogamae foliosae.*

- A. Zellenpflanzen, moosartige Pflanzen. Auf dem Vorkeim entsteht sogleich die stammbildende Generation, die nur aus Zellen zusammengesetzt ist.
- B. Gefässkryptogamen. Auf dem Vorkeime entstehen die Geschlechtsorgane, der Embryo wird zur stamm- und blattbildenden, Sporen erzeugenden Generation.

Dahin gehören: Farne, Natterzungen, Bärlappgewächse, Schachtelhalme, Wurzelfarne, Selaginellen.

## **I. Mycetes, Pilze.**

Bei den Pilzen, deren Stellung im System der Pflanzen durch die vorstehende Uebersicht gekennzeichnet ist, unterscheidet man ausser den eigentlichen Pilzen noch Sprosspilze und Spaltpilze.

Die beiden letzteren Gruppen lassen sich nach dem jetzigen Stande unserer Kenntnisse nur schwer in das System der übrigen Pflanzen einreihen und bilden vorläufig noch einen unvermittelten Anhang an die Pilze. Gerade in diese Gruppen gehören aber die hygienisch wichtigsten Formen und sie erfordern daher hier eine besonders eingehende Besprechung. Unter der enormen Formenmenge der eigentlichen Pilze sind es dagegen nur relativ wenige, die vom hygienischen Standpunkt Beachtung erfordern; und die folgende Uebersicht unterscheidet daher am zweckmässigsten 3 sonst nicht übliche Hauptabtheilungen: 1) die eigentlichen Pilze, von denen man diejenigen, welche vorzugsweise hygienisches Interesse beanspruchen, auch wohl unter dem gemeinsamen Namen der Schimmelpilze zusammengefasst hat; 2) die Sprosspilze; 3) die Spaltpilze.

#### *A. Die eigentlichen Pilze, Fungi.*

Die Pilze bestehen aus mikroskopisch kleinen Zellen, an denen eine Membran und ein protoplasmatischer Inhalt unterscheidbar ist. Die Zellmembran besteht aus einer der Cellulose nur ähnlichen, nicht mit derselben identischen Substanz, welche mit Jod keine Violettfärbung zeigt; im Protoplasma finden sich meist keine Zellkerne, ferner kein Stärkemehl und kein Chlorophyll; dagegen häufig Vacuolen, ferner Oeltropfen, verschiedene Farbstoffe, und zuweilen, namentlich auch auf der Aussenfläche der Zellwand in Gestalt kleiner Nadeln und Stacheln aufgelagert, Krystalle von oxalsaurem Kalk.

Das Wachsthum der Pilze erfolgt dadurch, dass sich die Zellen durch Spitzenwachsthum verlängern. Es entstehen dadurch regelmässig Fäden, *Hyphe*. Gewöhnlich wird die Hyphe durch Querscheidewände gegliedert; ausserdem sind die Fäden fast stets verzweigt dadurch, dass Aeste an irgend einer Stelle eines Gliedes abgehen, oder dass die Endzelle bei ihrem fortgesetzten Spitzenwachsthum sich dichotomisch theilt. Die Gesamtheit der vorhandenen Hyphen, mögen dieselben in geringer Zahl oder ganz vereinzelt, oder mögen sie zu massigen Körpern vereinigt sein, bezeichnet man als den *Thallus* der Pilze.

Am *Thallus* unterscheidet man das *Mycelium* und die Fruchträger, sobald es zur Entwicklung der letzteren gekommen ist; bis dahin ist das *Mycelium* mit dem *Thallus* identisch und es bezeichnet daher die mehr oder minder verbreiteten und verzweigten Pilzfäden, die sich auf irgend einem organischen Substrat angesiedelt haben. Meistens entsteht durch gleichmässige Ausbreitung der Mycelfäden nach allen Richtungen und durch immer fortgesetzte Veräste-

lung ein flockiges Mycelium; zuweilen werden auch häutige parenchymartige Lager oder faserige Stränge durch zahlreiche Vereinigung von Pilzfäden gebildet. Unter besonderen Umständen nimmt das Mycel mancher Pilze die Form der sog. Sclerotien an, knollenähnlicher fleischiger Körper, die sich secundär aus einem gewöhnlichen Mycel entwickeln; sie lassen eine Rinden- und eine Marksubstanz unterscheiden, letztere aus verflochtenen Hyphen, erstere aus den fest verbundenen, mit dunkeler Membran versehenen Endzellen der Hyphen bestehend. Die Sclerotien sind als Ruheformen zu betrachten, bei denen nur nach längerer Zeit und nur in dauernd feuchter Umgebung ein Austreiben von Fruchträgern stattfindet.

Mit grosser Energie vermögen die Pilzfäden des Myceliums in das als Nährboden dienende Substrat einzudringen. Bei todtten Pflanzentheilen können die Hyphen die Zellmembranen durchdringen, indem die dem Spitzenwachsthum entgegenstehenden Membranmoleküle aufgelöst werden. Aber auch bei lebenden Pflanzen breiten sich schmarotzende Pilze nicht nur auf der Oberfläche aus, sondern sie lassen ihre Fäden zwischen die Zellen der Pflanze hineinwachsen und senden dann wohl kurze Ausstülpungen, sog. Haustorien, in das Innere der Zellen; oder sie durchdringen die Zellwände, wie bei abgestorbenen Pflanzentheilen. Ebenso leisten die thierischen Membranen dem Vordringen der wachsenden Hyphen mancher Pilze keinen merklichen Widerstand, und selbst Zähne und Knochen werden von Pilzfäden durchwuchert.

Die Fortpflanzung der Pilze geschieht allgemein durch Sporen, d. h. Zellen, welche im Stande sind, in einen oder mehrere Keimschläuche auszuwachsen. In seltenen Fällen bilden einzelne Zellen des Myceliums selbst unmittelbar die Sporen; gewöhnlich aber wachsen aus dem Mycelium einzelne Hyphen hervor, welche schliesslich andere Gestalt- und Wachstumsverhältnisse zeigen und Fruchthyphen oder Fruchträger genannt werden. Lagern sich sehr zahlreiche Fruchthyphen zusammen, so entsteht ein sog. Fruchtkörper, wie er namentlich den höheren Pilzen zukommt. Die Art der Sporenbildung ist eine sehr verschiedene; und diese Differenzen der Fructification und der Fructificationsorgane sind deshalb von grosser Wichtigkeit, weil dieselben als Eintheilungsprincip für die zahlreichen Arten von Pilzen verwandt werden und dem gebräuchlichen System zu Grunde liegen.

Die 3 wesentlichsten Formen der Fortpflanzung sind folgende: Entweder bilden sich rundliche Sporenzellen an der Spitze des Fruchträgers und werden dort einzeln oder in Reihen ab-



geschnürt, so dass nur eine Quertheilung der Endzelle der Fruchthyphe stattfindet; oder die Sporen bilden sich im Innern gewisser Zellen, die als Mutterzellen bezeichnet werden, aus dem plasmatischen Inhalt der letzteren und werden schliesslich durch Sprengen oder allmähliche Auflösung der Zellwand frei; oder endlich es tritt eine Art geschlechtlicher Befruchtung ein.

Schnüren sich die Sporen an der Spitze der Fruchträger einfach ab, so nennt man diese Sporenträger Basidien; die so gebildeten Sporen heissen Basidiosporen oder Acrosporen. Auf dem Scheitel der Basidien stehen oft zunächst pfriemenförmige Ausstülpungen, Sterigmen, und erst auf diesen schnüren sich die Sporen ab; die so gebildeten Basidiosporen bezeichnet man häufig auch als Conidien. Bei einzelnen Pilzen kommen geschlossene, runde Fruchthälter, Spermogonien und Pycniden, vor, in deren Innern sich Basidien bilden, die Sporen abschnüren; letztere heissen dann Spermationien, resp. Stylosporen.

Die Mutterzellen, in denen sich theils durch Zerfallen des Plasmahalts, theils durch Zelltheilung Sporen bilden, werden unter dem Namen „Sporangien“ zusammengefasst; sind sie klein und enthalten nur wenig Sporen, so heissen sie Sporangiolen. Bei manchen Pilzen haben die Sporangien eine keulen- oder schlauchförmige Gestalt und bilden in ihrem Innern meist 8 Sporen; diese nennt man Asci oder Thecae und die gebildeten Sporen Ascosporen.

Häufig findet sich bei den Pilzen eine Art geschlechtlicher Befruchtung. Diese besteht entweder in der sog. Copulation: zwei Hyphen treiben je eine keulenförmige Aussackung, die sich von ihren Trägerzellen, den Suspensoren, abgrenzen, aneinanderwachsen und nach Resorption der Zwischenwand eine sog. Zygospora bilden. Meistens aber entsteht ein ausgeprägtes männliches und weibliches Geschlechtsorgan. Das weibliche sitzt als kugelförmig angeschwollene Zelle einem Mycelfaden auf und heisst Oogonium; das männliche, Antheridium, ist eine längliche oder keulig angeschwollene Zelle, die sich an das Oogonium anlegt und sich dann von seiner Hyphe abgrenzt; zuweilen treibt das Antheridium einen sog. Befruchtungsschlauch ins Innere des Oogoniums hinein. In letzterem bilden sich nach der Befruchtung die Oosporen, kugelige, mit Cellulosemembran versehene Zellen.

Sämmtliche Pilzsporen sind einfache, meist kugelige Zellen, an deren Membran man eine äussere, oft gefärbte Schicht, das Episporium, und eine innere, zartere, farblose Schicht, das Endosporium, unterscheidet; der Inhalt besteht aus Protoplasma und schliesst häufig

Oeltropfen ein. Das gemeinsame Kennzeichen der Sporen ist ihre Fähigkeit, in einen oder mehrere Keimschläuche auszuwachsen, aus welchen weiterhin die Mycelfäden sich entwickeln. Etwas abweichend verhalten sich nur die Schwärmsporen und Dauersporen. Die ersteren entstehen aus den Sporen gewisser Pilze und schlüpfen aus der berstenden Spore als nackte, mit Cilien versehene, bewegliche Zellen hervor. Nach einiger Zeit kommen sie meist zur Ruhe, umgeben sich mit einer Zellmembran und treiben dann wie andere Sporen einen Keimschlauch. — Unter Dauersporen versteht man solche Sporen, welche nicht sogleich nach ihrer Entstehung zu keimen vermögen, sondern erst einer längeren Ruhezeit, z. B. des ganzen Winters, bedürfen. Namentlich Zygosporien und Oosporen pflegen sich meistens als Dauersporen zu verhalten.

Die verschiedenen Arten der Fructificationsorgane kommen zuweilen auf ein und demselben Pilzthallus neben einander oder nach einander vor; der gleiche Pilz kann unter Umständen Basidiosporen und z. B. geschlechtlich erzeugte Sporen liefern; es findet also häufig eine Pleomorphie der Fructificationsorgane statt. Damit ist dann oft verbunden ein sog. Generationswechsel; der Thallus eines bestimmten Pilzes trägt dann zunächst nur eine Art von Fructificationsorgan; die so erzeugten Sporen wachsen zu einem Thallus heran, der aber vom ursprünglichen Thallus verschieden ist und eine andere Fructification hervorbringt, ja sogar oft nicht auf demselben Wirthe gedeiht (autöcische Pilze), sondern einer ganz anderen Nährpflanze zu seiner Entwicklung bedarf (heteröcische Pilze). Aus den auf dem zweiten Thallus hervorgegangenen Sporen entwickelt sich dann wieder das ursprüngliche Mycel mit seiner charakteristischen Fruchtform.

Die Verschiedenheiten des Mycels, besonders aber der Fructificationsorgane haben nun die Grundlage geliefert für die folgende systematische Eintheilung der Pilze. Man unterscheidet 5 Ordnungen:

1. Hypodermii. Das Mycelium ist parasitisch; die Fäden desselben haben Querscheidewände. Einzelne Zellen des Mycels oder Endzellen kurzer Mycelzweige werden unmittelbar zu den Sporen.

Dahin gehören: a) *Ustilagineae*, b) *Protomycetes*, c) *Entomophthorae*.

2. Phycomycetes. Mycel ohne Querscheidewände, bald parasitisch in Pflanzen, bald auf faulenden Substanzen. Meist deutliche Fruchthyphen; bei allen eine ungeschlechtliche Generation mit Bildung von Sporangien oder Acrosporen; bei vielen ausserdem eine Geschlechtsgeneration mit Oosporen oder Zygosporien.

Dahin gehören: *d) Chytridiaceae, e) Mucorineae, f) Saprolegniaceae, g) Peronosporae.*

3. Ascomycetes. Mycel mit Querscheidewänden, entwickelt verschieden gestaltete Fruchtkörper, welche die Sporen in Asci erzeugen. Als Vorläufer der Asci tragenden Fruchtkörper verschiedenartige andere Fruchttträger mit Acrosporen.

*h) Gymnoasci, i) Tuberaceae, k) Perisporiaceae, l) Pyrenomyces, m) Discomycetes.*

4. Basidiomycetes. Mycel mit Querwänden, entwickelt mannigfaltig gestaltete Fruchttträger, welche die Sporen auf Basidien abscütren.

*n) Uredineae, o) Tremellini, p) Hymenomyces, q) Gasteromyces.*

5. Myxomycetes. Die Sporen erzeugen bei der Keimung kein Mycelium, sondern Schwärmosporen, welche sich zu einem grösseren Protoplastmakörper, Plasmodium, vereinigen. Dieser verwandelt sich unmittelbar in einen Sporenbehälter, indem er bestimmte Gestalt annimmt, sich mit einer Zellhaut umgiebt und im Innern in eine grosse Anzahl Sporen zerfällt.

(Vgl. die Eintheilung BREFELD's weiter unten.)

Von den zahlreichen zu den aufgezählten Ordnungen gehörigen Familien, Gattungen und Arten sollen hier nur diejenigen aufgeführt und besprochen werden, denen entweder eine pathogene Wirkung auf den Menschen zukommt, oder welche in Thieren oder Pflanzen Krankheiten hervorzurufen vermögen und dann durch ihre, den menschlichen Parasiten analogen Eigenschaften interessiren; oder endlich solche, welche vielfach in der alltäglichen Umgebung des Menschen vorkommen, zur Zersetzung organischer Substanzen beitragen und sich häufig in den gewöhnlichsten Untersuchungsobjecten finden.

### 1. Hypodermii.

#### *a) Ustilagineae, Brandpilze.*

Schmarotzen auf Phanerogamen. Die feinen Mycelfäden wachsen zwischen den Pflanzenzellen und quer durch die letzteren. An einzelnen Stellen vermehren sich die Mycelhyphen massenhaft, gliedern sich und zerfallen unmittelbar zu Sporen, welche dann als dunkle Staubmassen die Stelle des zerstörten Gewebes einnehmen. Die Sporen sind einfache runde Zellen mit braungefärbter, glatter oder netzförmig gezeichneter Membran; sie keimen auf jedem feuchten Substrat, ihr Keimschlauch wird zu einem kurzen Faden (Promycelium), welcher sich in seitliche Glieder verzweigt. Diese Glieder bilden die sog. Sporidien, sie lösen sich vom Promycelium ab und

können sofort wieder in einen Keimschlauch auswachsen; letzterer vermag dann in die junge Keimpflanze einzudringen, indem er durch die Wand der Epidermiszellen in deren Innenraum hineinwächst und

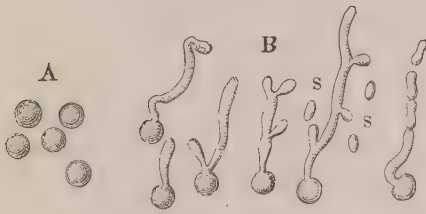


Fig. 1.

*Ustilago carbo.* Vergr. 400.

A. Reife Sporen.

B. Keimende Sporen, Promycelium u. Sporidien (s) bildend.

so die Nährpflanze mit der Brandkrankheit inficirt. — Die Erkennung der Brandkrankheit stützt sich hauptsächlich auf das Auftreten der dunklen, stäubigen Sporenmassen, in welche der ergriffene Pflanzentheil (je nach der Brandpilzart bald Blüthe, bald Stengel und Blätter, bald Wurzel) zerfällt. Andauernde Feuchtigkeit ist für

die Keimung der Sporen und das Eindringen der Keimschläuche in die Nährpflanze Bedingung. Die Verhütung der Krankheit gelingt durch Verminderung der Feuchtigkeit oder durch Desinfection der

Saatkörner, z. B. mit Kupfervitriol.

— Etwa 50 deutsche Arten. Die wichtigsten sind folgende:



Fig. 2.

*Tilletia caries.* Vergr. 400.

sp reife Spore.

p, p keimende Sporen; bei a die Sporidien im Beginne der Entwicklung; bei s fertig und paarweise copulirt.

x Keimschlauch einer Sporidie.

s' secundäre Sporidie.

*Ustilago carbo*, Flugbrand, Staubbbrand. Schwarzes Pulver in Ähren und Rispen des Weizens, der Gerste, des Hafers. Zur Zeit der Ernte ist die rasch zerfallende Brandmasse längst durch Wind und Regen entfernt, daher keine Verunreinigung des Mehls. Sporen braun, kugelförmig (Fig. 1); Episporium glatt; Sporidien längliche Zellen (Fig. 1, B). — Etwa 30 Arten.

*Tilletia caries*, Steinbrand, Schmierbrand. Schwarzbraunes, nach Häringslake stinkendes Pulver in den Körnern des Weizens und des Spelz. Die Körner zerfallen nicht, sondern bleiben geschlossen; daher die Brandmasse das Mehl verunreinigt und

demselben einen widerlichen Geruch verleiht. — Sporen kugelig, blassbraun; Episporium mit stark ausgebildeten netzförmigen Verdickungen. Bei der Keimung bildet sich auf dem Ende des Pro-



mycel ein Quirl fadenförmiger Sporidien, welche in ihrer unteren Hälfte sich durch ein Querästchen paarweise copuliren und in dieser Verbindung abfallen; die Paare wachsen dann an irgend einem Punkte in einen fadenförmigen Keimschlauch aus, an welchem häufig Abschnürung secundärer Sporidien in Form länglich ovaler Zellchen stattfindet, die wieder auskeimen können (Fig. 2). — (10 deutsche Arten von *Tilletia*.)

*Urocystis occulta*, Roggenstengelbrand. Schwarzes Pulver, in sehr langen, anfangs grauen, später aufbrechenden Streifen in den Halmgliedern des Roggens enthalten; gewöhnlich tragen die ergriffenen Pflanzen keine körnerhaltigen Aehren. — Sporen aus mehreren Zellen zusammengesetzt; im Innern 1, 2 und mehrere grössere dunkelbraune Zellen, aussen am Rande mehrere flach halbkuglige farblose Zellen (Sporenballen 0,024 Mm.). Die Promycelien treiben wie bei *Tilletia* einen Quirl cylindrischer Sporidien, die aber meist, ohne zu copuliren, an ihrem unteren ansitzenden Ende sogleich in einen Keimschlauch auszuwachsen (Fig. 3). — (Lit. 171.)



Fig. 3.

*Urocystis occulta*.

A. Sporenbildende Fäden.

B. Reife Sporen keimend (nach Kühn).

### b) *Protomycetes*.

Schmarotzen auf verschiedenen Phanerogamen; ohne hygienisches Interesse.

### c) *Entomophthoreae*.

Leben auf verschiedenen Insecten, werden ihren Wirthen tödtlich und erzeugen daher, indem sie sich durch ihre Sporen rasch verbreiten, ansteckende und epidemisch auftretende Krankheiten unter den Insecten. — (Lit. 184—190.)

*Empusa muscae*. Auf den Stubenfliegen. Die durch diesen Pilz getödteten Fliegen hängen mit ausgespreizten Beinen an den Wänden; am angeschwollenen Hinterleib treten zwischen den Segmenten 3 weisse Gürtel hervor (die Basidien); die Fliege ist von einem breiten weissen Staubhof umgeben, der aus fortgeschleuderten Sporen besteht. — Die Sporen (Durchm. 0,011 Mm.) keimen leicht auf der Bauchhaut gesunder Fliegen, treiben einen Keimschlauch, der unter die Haut eindringt und dort durch Sprossung kurze rund-

liche Zellen bildet, welche sich abtrennen und im Blute verbreiten (der Keimschlauch hat eine sehr empfindliche Membran, die sich in Wasser sofort auflöst, aber in Kochsalzlösung erhalten bleibt). Diese Zellen wachsen zuletzt zu schlauchförmigen Hyphen aus, deren eines Ende als keulenförmiges Basidium aus der Haut des Hinterleibs hervorkommt. Das obere Ende des Basidiums schiebt sich dann zur Sporenbildung an, indem dort eine Aussackung entsteht, in welche Plasma überfließt; diese Aussackung, die künftige Spore, wächst und gliedert sich schliesslich durch eine Scheidewand von der

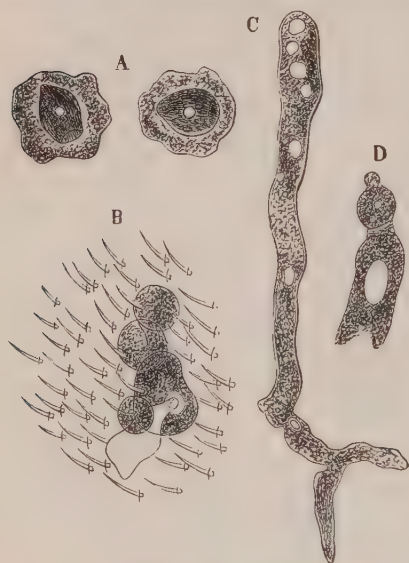


Fig. 4.

*Empusa muscae*. 300:1.

- A. Reife Sporen, von ausgespritztem Protoplasma umgeben.  
 B. Ein Stück Fliegenhaut mit keimender Spore.  
 C. Eine im Innern des Leibes gebildete Hyphe, deren keuliges Ende zur Basidie wird.  
 D. Stück eines solchen Fadens mit bereits abgegrenzter Spore. (Nach BREFELD.)

Basidie ab. In letzterer bilden sich dann grosse Vacuolen, sie nimmt immer mehr Feuchtigkeit auf und schwillt an; endlich platzt sie, und der herausspritzende Inhalt schleudert die Spore mit Gewalt fort. Der entleerte Schlauch schrumpft zusammen; an seine Stelle tritt ein neuer, an dem sich derselbe Vorgang wiederholt. So entsteht der staubartige Hof von Sporen um die Fliege herum. Die rundlichen Sporen (Fig. 4) sind von einem Plasmamantel umgeben, der das Anhaften an dem Leibe einer anderen Fliege begünstigt.

*Empusa radicans*. In den Raupen des Kohlweisslings. Die Sporen treiben lange Keimschläuche durch die durchsichtige Haut, die Endzellen derselben verästeln sich und erfüllen den Körper der Raupe mit dichtem Fäden-

geflecht. Die Raupe ist dabei anfangs unruhig, später regungslos; während sie abstirbt, breitet sich das Mycel immer weiter aus, aber ohne dass das äussere Ansehen der Raupe sich verändert. Mehrere Tage nach dem Tode derselben brechen auf der Unterseite die Mycelenden durch und heften sich als massige Fruchträger am Boden an; gleichzeitig zeigen sich auf der oberen Seite reich büschelig verästelte sporenbildende Schläuche, die spindelförmige Sporen in ganz ähnlicher Weise wie bei *Empusa muscae* fortschleudern. Bei Gegenwart von Wasser bilden die Sporen sekundäre Sporidien, die ebenfalls

APR 18 1917

abgeschleudert werden. — Die Empusaarten können sich auf die verschiedensten anderen Insecten verbreiten (Fig. 5).

*Tarichium megaspermum*. In den Raupen der Wintersaat-eule beobachtet. Mycelfäden einzellig, farblos; Sporen auf kurzen Stielen an den Seiten und Enden der Mycelhyphen innerhalb des Thierkörpers; Sporen kuglig, schwarz, mit faltig verdicktem Epi-  
sporium (Durchm. 0,05 Mm.).

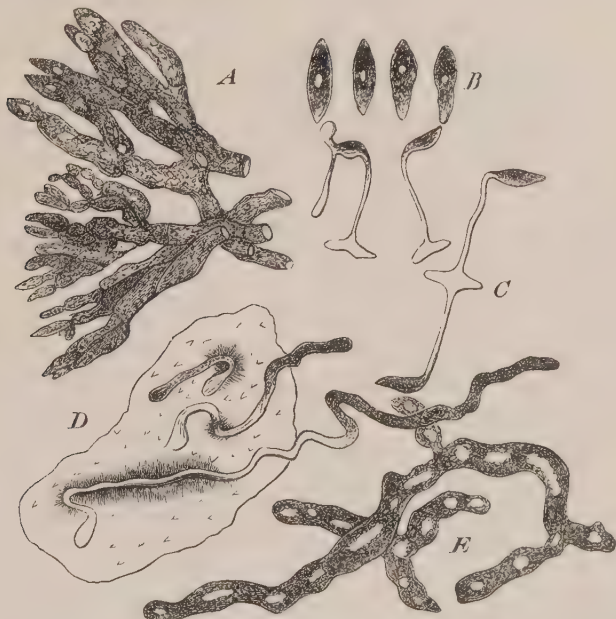


Fig. 5.  
*Empusa radicans*.

- A. Die Spitzen der fructificirenden Hyphen, Sporenbildend. 300:1.  
B. Reife Sporen. 650:1.  
C. Keimung der Sporen auf Wasser.  
D. Hautstück einer inficirten Raupe mit keimenden Sporen.  
E. Abgetrennte Aeste des Mycels, im Blut der Raupe schwimmend. 300:1.  
(Nach BREFFELD.)

## 2. Phycomycetes.

### d) Chytridiaceae.

Schmarotzende einzellige Organismen, meist eine einfache bauchige Zelle darstellend; die Fructification besteht in der Bildung und Entlassung zahlreicher Schwärmsporen, welche auf einer Nährzelle wieder zu dem einzelligen Pilz auswachsen. Hauptsächlichste Gattungen: *Synchytrium*, in Epidermiszellen phanerogamer Landpflanzen schmarotzend; z. B. *Taraxaci*, orangerothe Pünktchen an beiden Blattflächen von *Tarax. offic.* bildend; *S. aureum*, als orangerothe Pünktchen auf Stengeln und Blättern von mehr als 70 verschiedenen Nährpflanzen beobachtet. — *Chytridium*, auf

Algenzellen im Wasser schmarotzend. — Phlyctidium, auf Algenzellen oder Infusorien, z. B. auf *Euglena viridis*.

e) *Saprolegniaceae*.

Farblose, meist ziemlich grosse Pilze, welche flockige oder fädige schleimige Massen im Wasser bilden, mit dem unteren Theile der schlauchförmigen Mycelien auf im Wasser faulenden Thier- und Pflanzen-

leichen festsitzen, zuweilen aber auch auf lebenden Thieren (Fischen) schmarotzen. Die Fortpflanzung geschieht durch Schwärmsporen; die cylindrischen oder keulenförmigen Mutterzellen derselben, die sog. Zoosporangien, sind abgegrenzte Zellen, auf den Enden der schlauchförmigen Mycelien; ihr Protoplasma theilt sich in eine grosse Anzahl Schwärmsporen. Letztere treten meist durch Aufreißen des Sporangiums als rundliche bis ovale nackte Körperchen hervor, im Innern meist mit einer Vacuole und mit zwei nach vorn und hinten gerichteten, lebhaft schwingenden Cilien an der Seite. Nach kurzer Zeit setzen sich die Zoosporen fest, umgeben sich mit einer Zellhaut und treiben dann unmittelbar einen Keimschlauch, der zum neuen Mycel heranwächst. — Ausserdem kommt aber den Saprolegniaceen auch eine geschlechtliche Fructification zu. Auf einem kurzen Seitenzweige des Mycelschlauchs entsteht eine kuglig ange-



Fig. 6.

Schläuche einer *Achlya* mit Geschlechtsorganen.

- A. und B. junge Oogonien mit entstehenden Nebenästen aaa.  
 C. Reifes Oogonium mit Copulationswarzen; die Nebenfäden tragen reiche Antheridien.  
 D. Oogonium mit 2 Befruchtungskugeln ee; bb Befruchtungsschläuche.  
 E. Oogonium mit reifen Oosporen. 550:1. (Nach SACHS.)

geschwollene Zelle, das Oogonium; aus demselben Zweige entspringen dünne Fäden, die Antheridien; letztere treiben an niedrigen Warzen des Oogoniums, die sich als helle Stellen markiren und Copulationswarzen genannt werden, Befruchtungsschläuche ein (Fig. 6). Die darauf entstehenden Oosporen besitzen im reifen Zustande eine mässig dicke Membran; sie keimen erst nach längerer Ruhe und bilden dann ein Mycel, an welchem wiederum zunächst Zoosporenbildung und dann geschlechtliche Fructifi-



cation auftritt. — Die wichtigsten Gattungen sind folgende; *Leptomit*us, lange farblose Pilze (Fäden i. M. 0,01 Mm. dick); in Flüssigkeiten, in denen organische Verbindungen sich zersetzen, in Gräben, Wasserleitungsröhren oft in massenhafter Entwicklung. — *Saprolegnia*, zarte farblose Fäden; wachsen auf im Wasser liegenden Thier- und Pflanzentheilen, von deren Oberfläche sie strahlig abgehen. Wächst auch auf lebenden Fischen und Tritonen, bedingt bei diesen eine Störung der Hautthätigkeit und afficirt die Kiemen, so dass die Thiere langsam zu Grunde gehen. — *Achlya*, auf im Wasser faulenden Insecten, Schläuche von 0,025—0,07 Mm. Dicke.

### f) *Peronosporae*.

Parasiten in lebenden Pflanzen; das zwischen den Zellen befindliche Mycel treibt zuweilen Haustorien in den Zellenraum. Alle besitzen eine ungeschlechtliche Fructification, indem Fruchthyphen an die Oberfläche des Pflanzentheils hervortreten und Conidien abschneiden. Die reifen Conidien sind sogleich fähig zu keimen, und zwar indem sie direct in einen Keimschlauch auswachsen oder indem ihr Inhalt sich in eine Anzahl Portionen sondert, welche sich zu Schwärmsporen ausbilden; diese keimen schliesslich wie die anderen Sporen. Die Keimschläuche entwickeln sich nur dann weiter zum Mycel, wenn sie Gelegenheit finden, in eine Nährpflanze einzudringen. — Manche Peronosporen besitzen ausserdem noch eine geschlechtliche Fructification; im Innern der befallenen Pflanzentheile bildet sich Oogonium, Antheridium und schliesslich die Oospore, die als Dauerspore fungirt und deren Keimung erst im nächsten Frühjahr erfolgt, wenn die Sporen durch Verwesung der Nährpflanze frei geworden sind. — (Lit. 166—168.)

Gattung *Peronospora*; etwa 40 Arten, auf den verschiedensten Phanerogamen; meist in grünen Theilen, die Conidienträger vorzüglich auf der unteren Seite der Blätter. Die befallenen Theile färben sich vor der Zeit gelb oder braun und sterben ab; die Conidienträger erscheinen auf ihnen wie ein feiner, grauer, schimmelartiger Ueberzug. *Peronospora infestans*, Pilz der Kartoffelkrankheit. Mycelschläuche 0,005 Mm. dick, ohne Haustorien; Conidienträger mit 1—5 abstehenden, nach oben verdünnten Zweigen und ellipsoidischen oder eiförmigen Conidien (Fig. 7).

Seit 1830 in Deutschland bekannt, von 1845—1850 von verheerender Wirkung; seitdem nur bei grösserer Feuchtigkeit. Von Ende Juni an treten braune Flecken auf den Blättern auf, deren Unterseite den schimmelartigen Saum der Conidienträger zeigt; bald stirbt das ganze Kraut ab. Darauf folgt oft noch eine Fäule der Knollen; schmutzigbraune Flecken zeigen die Entwicklung des Mycels an. Auf den getödteten Knollen entwickeln sich häufig zwei Arten von Schimmelpilzen: *Fusisporium solani* und *Acrostalagmus cinnabarinus*, die aber nichts mit der

Krankheit zu thun haben. — Der infectiöse Pilz überwintert in den Knollen, kommt mit dem Saatgut auf die Aecker und entwickelt sich vorzugsweise bei hochgradiger Feuchtigkeit; nur junge Theile mit zarten Membranen lassen die Keimschläuche eindringen. Desinfectionsversuche waren bisher vergeblich; wohl aber kann man die locale Disposition beeinflussen durch Vermeidung der Feuchtigkeit, ferner die individuelle Disposition durch Auswahl resistenter derbwandiger Sorten von Kartoffeln, endlich die zeitliche Disposition dadurch, dass man das Saatgut trocken aufbewahrt und spät legt, und so also langsame Entwicklung des Pilzes

und rasches Wachsthum der Kartoffel veranlasst. — Andere Arten von *Peronospora* an Leguminosen, Klee, Weinstock, Blättern der Runkelrübe etc. — Gattung *Cystopus*. Lager von kurzen keulenförmigen Hyphen, die perlschnurartig Conidien abschnüren; Oosporen. Sechs Arten an Cruciferen, am Leindotter und Meerrettig.

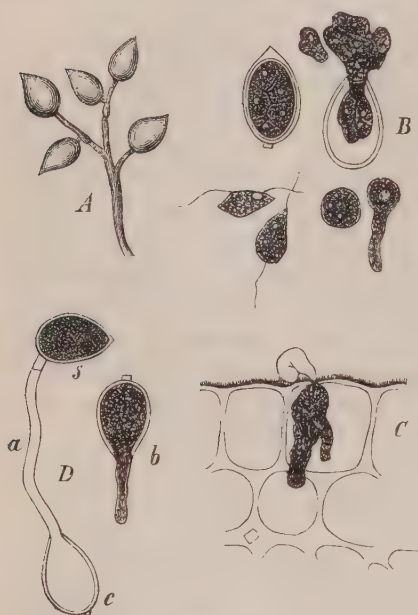


Fig. 7.  
*Peronospora infestans*.

- A. Junger Zweig des Pilzes.  
B. Schwärmsporenbildung.  
C. Schwärmspore, welche sich durch die Epidermis eines Kartoffelstengels gebohrt hat.  
D. a. Die Conidie c. bildet eine secundäre s.  
b. Keimung einer Conidie. (Nach DE BARY.)

#### g) *Mucorineae*.

Weissliche, graue oder braune Schimmelrasen, an der Luft auf faulenden Substanzen sich entwickelnd. Zartes Netz von feinen Mycelfäden; von diesen senkrecht aufsteigend die Fruchthyphen und an deren Spitze ein Sporangium, eine kugelförmige grosse Zelle, in welche das Ende der Hyphe als kuglige Columella sich vorwölbt. Das Protoplasma des Sporangiums zerfällt in eine grosse Anzahl von

Sporen; die anfangs farblose, später meist schwarz gefärbte Membran des Sporangiums löst sich in Wasser auf. Viele bilden Zygosporen durch Copulation zweier Myceläste; die Mucorineen werden daher neuerdings vielfach als besondere Ordnung: *Zygomycetes* aufgeführt.

Gattung *Pilobolus*. Fruchthyphen blasig angeschwollen, bei der Reife platzend und das dunkel gefärbte Sporangium elastisch empor-schleudernd. Grosse krystallinisch erscheinende Rasen auf Koth von Rindern, Pferden etc. Hyphen 1—2 Mm. hoch.

Gattung *Mucor*. Sporangien bleiben auf den Fruchthyphen und

entleeren dort die Sporen. 7 Arten. — *Mucor mucedo*. Fruchthyphen farblos, einfach oder verzweigt, 1—13 Cm. lang; Sporangien gelbbraun bis schwarz. Membran glatt oder eng mit Stacheln von oxalsaurem Kalk besetzt. (Fig. 8.) Sporen länglich (0,008 Mm. lang, 0,0037 Mm. breit). Sehr verbreitet auf allen möglichen stickstoffreichen Substraten. — *Mucor racemosus*. Viel zartere Fruchthyphen, höchstens 1,5 Cm. lang; Sporangien gelblich bis hellbraun; Sporen rundlich. Verbreitet auf kohlehydratreichen Substanzen. An alten Mycelien oder beim Keimen der Sporen unter Wasser bilden sich in den Hyphen sog. Gemmen oder Brutzellen, d. h. birnförmig angeschwollene Stellen, welche dicke Membranen und ein ölreiches Protoplasma erhalten. — Bei fortgesetzter Cultur in Flüssigkeiten, wenn das Medium mit CO<sub>2</sub> gesättigt ist, werden die Keimschläuche immer kürzer und zeigen hefeartige Sprossung; die kugligen Glieder werden als Kugel- oder Gliederhefe bezeichnet. Die so gebildeten Zellen nehmen den Charakter von Dauerzellen an, können aber durch Entfernung der Kohlensäure jederzeit zur Bildung normalen Mycels veranlasst werden. Die Kugelhefe vermag leicht Sauerstoffmangel im Nährmedium zu erzeugen und dann vorhandenen Zucker in Alkohol und Kohlensäure zu zerlegen (BREFELD).<sup>1)</sup>



Fig. 8.

*Mucor mucedo*.

- A. Reifes Sporangium. B. dasselbe, durchsichtig gedacht; c Columella, s der mit Sporen erfüllte Raum.  
C. Nahezu reifes Sporangium, die Membran durch künstlichen Druck abgehoben.  
D. Fruchthyphe mit der nackten Columella c. 70:1.  
E. Ein alter Mycelfaden hat eine Gliederzelle entwickelt, die zu einer Gemme geworden ist. 350:1.  
F. Spore von *Mucor racemosus*, in Zuckerlösung zu einem Keimschlauch gekeimt, welcher Kugelhefe (k) bildet. 350:1.

1) LICHTHEIM hat in neuester Zeit (Berl. klin. Woch. 1882, No. 9 u. 10) mitge-

Gattung *Piptocephalis*. Schmarotzt auf *Mucor*. Statt Sporangien Aeosporen auf wiederholt gablig verzweigten Fruchthyphen; ausserdem Zygosporien. — Gattung *Chaetocladium*. Ebenfalls auf *Mucor*. Fruchthyphen mit Quirlen von Zweigen, auf denen morgensternartig die Aeosporen sitzen.

### 3. Ascomycetes.

#### h) *Gymnoasci*.

Sporenschläuche, Asci, entstehen unmittelbar am Mycel als Zweige der Hyphen, nicht in einem Fruchtkörper. Mikroskopisch klein. — Gattung *Gymnoascus*, Fäulnissbewohner, auf Pferde- und Schafmist. — Gattung *Exoascus*. Parasitisch auf Pflanzen, so namentlich an den Früchten von *Prunus* (Narren, Hungerzwetschen). Aus dem im Gewebe der Nährpflanze verbreiteten Mycel brechen kurze Schläuche mit je 6—8 kugligen Sporen hervor. — Gattung *Ascomyces*. Die Schläuche sitzen keinem gemeinsamen Mycel auf. Schmarotzen auf Blättern der Ulme, der Pflirsichbäume etc.

#### i) *Perisporiaceae*.

Die Sporenschläuche werden innerhalb eines gehäuseartigen Fruchtkörpers, des Peritheciums, gebildet; letzteres hat keine vorgebildete Oeffnung, sondern zerreisst bei der Reife. Die Peritheciien sind sehr kleine, selten über 1 Mm. grosse runde Körperchen, welche gewöhnlich in grosser Zahl dem Mycelium unmittelbar aufsitzen; ihre Wandung ist meist gefärbt, oft mit Haaren oder haarförmigen Fortsätzen besetzt. Die Asci entspringen als kurze keulenförmige Schläuche auf dem Grunde der Peritheciumhöhle; sie enthalten meist 8 einzellige, eirunde, farblose oder gefärbte Sporen. — In vielen Fällen ist die Entstehung des Peritheciums durch geschlechtliche Befruchtung nachgewiesen. Bei *Eurotium* z. B. entwickeln sich aus einzelnen Mycelzellen kurze Zweige, welche sich zu einer Schraube aufwinden; diese Schraube repräsentirt das weibliche Organ, das Ascogonium. Von dem unteren Theile desselben Fadens wachsen

---

theilt, dass er pathogene, im lebenden Thierkörper zur Entwicklung gelangende *Mucor*arten gefunden habe. Dadurch gewinnt diese Gattung ein erhöhtes hygienisches Interesse. Die genauere Bezeichnung der pathogenen Arten von *Mucor* steht noch aus; bisher hat man ausser den oben genannten hauptsächlich noch folgende Arten unterschieden: *M. stolonifer*, Mycel mit bogig aufsteigenden und sich wieder niedersenkenden Aesten, Sporangien tiefschwarz, Sporen fast kuglig. *M. aspergillus*, Fruchthyphen an der Basis verdünnt, vielfach gablig getheilt, Sporangien schwarzbraun, Columella niedrig. *M. phycomyces*, Mycel dickwandig, Fruchthyphen olivengrün, ölarartig glänzend, Sporangien schwarz, Sporen länglich. *M. fusiger*, Sporen länglich eiförmig. *M. macrocarpus*, Sporen spindelförmig, spitz. *M. melittophthorus*, im Magen von Bienen gefunden, Sporen elliptisch.



dann Zweige aufwärts an der Schraube entlang bis zu deren Spitze, und einer der Zweige und die obere Schraubenwindung legen sich aneinander und tauschen ihren Inhalt aus; nach dieser Befruchtung theilen und verzweigen sich die männlichen Zweige, die Pollinodien, wiederholt und bilden so eine Hülle, welche zur Wand des Peritheciums wird.<sup>1)</sup>

Ausser den Peritheciën besitzen viele Perisporiaceen auf demselben Mycel noch eine zweite, geschlechtslose Fructification; es bilden sich einfach Fruchthyphen, welche Sporen, Conidien, absehnüren. Diese geschlechtslose Fructification ist ausserordentlich verbreitet und sehr häufig kommt es ausschliesslich zu dieser; nur besonders reichliche Ernährung disponirt zur Peritheciënbildung. So bilden die gemeinsten Schimmelpilze für gewöhnlich nur die geschlechtslose Fructification und ihr Zusammenhang mit den Peritheciënformen ist meist erst spät erkannt. Daher wurden diese Pilze mit ihren Conidienformen als besondere Gattungen beschrieben, während sie nach neuerer Forschung nur als secundäre Fruchtform der Ascomyceten aufzufassen sind. — Die Conidien keimen leicht unmittelbar nach der Reife, bilden Mycel und entwickeln wieder Conidienträger; auf solchem aus Conidien entstandenen Mycel können vermuthlich unter geeigneten Bedingungen auch Peritheciën zur Entwicklung kommen, doch ist dies noch nicht direct beobachtet. Die Ascosporen sind meist erst nach einer Ruheperiode keimfähig; für einzelne derselben ist es sicher gestellt, dass sie sich zu einem conidientragenden Mycel entwickeln.

Die Perisporiaceae sind theils Fäulnissbewohner, und zwar gehören zu dieser Gruppe die allerverbreitetsten Schimmelpilze, theils schmarotzen sie auf Pflanzen und erzeugen gewisse Pflanzenkrankheiten.

22 Gattungen. — Gattung *Erysiphe*. Schimmelartige Ueberzüge auf lebenden Pflanzen, als „Mehlthau“ bekannt. Bildet Sommersporen und Wintersporen; erstere erscheinen als ovale, einzellige Conidien, die auf einfachen aufrechten Fruchthyphen abgeschnürt werden; die Wintersporen werden in den spät auf demselben Mycel entstehenden Peritheciën gebildet und werden erst nach einer Ruhepause keimfähig. Die Conidienfructification bezeichnete man früher als besondere Pilzgattung *Oïdium*. Für einige *Oïdium*arten ist die zugehörige Peritheciënfructification noch nicht aufgefunden. — Der

1) Nach neueren Beobachtungen scheinen die vermeintlichen sexuellen Copulationserscheinungen nur gleichgültige Anastomosen zwischen Hyphen zu sein, wie sie auch sonst häufig vorkommen (BREFELD (24); VAN TIEGHEM, Bull. de la Soc. bot. de France 1877).

Mehlthau befällt die verschiedensten Pflanzen, und zwar haben die verschiedenen Pflanzenarten ihre besonderen Mehlthauvarietäten. Die befallenen Pflanzen erkranken und sterben frühzeitig ab. Feuchte Witterung im Spätsommer und Herbst und feuchte Lage wirken begünstigend. Ungefähr 30 Arten.

3 wichtige *Oidium*-arten, deren Perithezien aber unbekannt sind, gehören hierher:

*Oidium Tuckeri*, der Pilz der Traubenkrankheit. Auf braun werdenden Flecken der Blätter und Zweige des Weinstocks zeigt sich ein weisser mehlthauartiger Ueberzug, der auch auf die junge Beere übergeht, deren Epidermis abstirbt und berstet. — Die länglichrunden Conidien stehen einzeln auf den Fruchthyphen.

*Oidium lactis*. Fruchthyphen einfach, aufrecht, farblos; bilden eine endständige Sporenkette; bisweilen scheinbare Astbildung, indem die Fruchthyphne neben der endständig gebildeten Sporenkette aufwärts weiter wächst. Sporen kurz walzenförmig, 0,0077—0,0108 Mm. lang (Fig. 9). Zarter weisser Schimmelüberzug auf Milch, Brod, Mist etc.

Nach GRAWITZ (202) ist *Oidium lactis* identisch mit den Pilzen einiger beim Menschen vorkommenden parasitischen Hautkrankheiten, nämlich mit dem Favuspilz (*Achorion Schoenleinii*), dem Pilz des Herpes tonsurans (*Trichophyton tonsurans*), dem Pilz der Pityriasis versicolor (*Microsporon furfur*). Die Conidien dieser Pilze wachsen, künstlich gezüchtet, zu einem oder zu mehreren Keimschläuchen aus; dieselben erhalten bald Scheidewände und senden Seitenzweige aus, welche sich durch Spitzenwachsthum verlängern. Oft schon nach sehr kurzem, oft nach längerem Wachsthum hört dieses auf und es beginnt die Gliederung der Fäden in Conidien, die anfangs fast cubische Zellen bilden, dann aber durch Abrundung der Ränder längsovale Gestalt annehmen. Einzelne Fäden treiben fast rechtwinklig abgehende Seitenäste; bei üppigem Wachs-

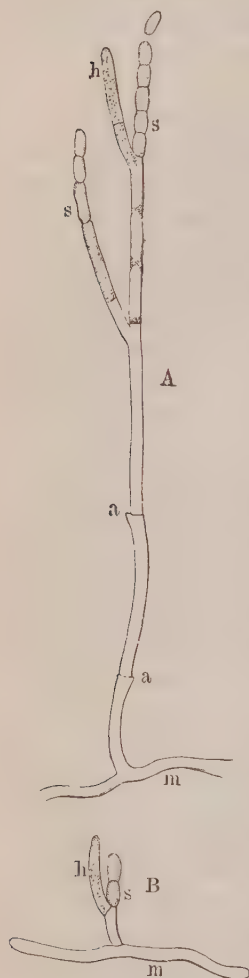


Fig. 9.  
*Oidium lactis*.

A ältere, B jüngere Fruchthyphne.

m Mycel; s Sporenkette, neben welcher die Fruchthyphne h als Seitenzweig weiter aufwächst

a die älteren Sporenstände.  
200:1.

thum werden einzelne der Seitenäste zu grossen glänzenden Kugeln, die sich ganz abschnüren und wieder keimfähig sind (Fig. 10). Die Fäden des Herpespilzes etc. erscheinen allerdings sehr zart im Ver-



Fig. 10.  
Favus- und Herpespilz (*Oidium lactis*).

- A. Keimschläuche in Gelatinelösung gezüchtet.  
B. Zerfall eines Keimschlauchs in einzelne Conidien (in conc. Nahrung).  
C. Fruchtbildung.  $\alpha$  Knospenbildung;  $\beta$  Gemmenbildung.  
D. Herpespilz, Mycelfäden mit Fructification.  
E. Conidien von *Oidium lactis*, aus denen (in verdünnter saurer Nährlösung) unverhältnissmässig dünne Keimschläuche hervorgewachsen sind. 350:1. (Nach GRAWITZ.)

gleich zu den viel dickeren Conidien von auf Milch gewachsenem *Oidium lactis*; aber bei Veränderung des Nährsubstrats konnte GRAWITZ in dieser Beziehung die grössten Varietäten erhalten, so dass z. B. eine grosse Conidie ein viel zarteres Fädchen entsandte, welches

dann eine Zelle von viermal kleinerem Durchmesser abschnürte. (Fig. 10, E.)

*Oidium albicans* wurde früher als derjenige Pilz unterschieden, welcher den Soor, einen eigenthümlichen schwammigen Belag der Mundschleimhaut und Zunge hervorruft; seine sehr dünnen Hyphen sollten an der Spitze in eine kurze Kette von kugligen oder ovalen Sporen (von 0,005 Mm. Durchm.) abschnüren. Nach Untersuchungen von GRAWITZ soll aber der Soorpilz vielmehr identisch sein mit *Mycoderma vini* (s. unten).

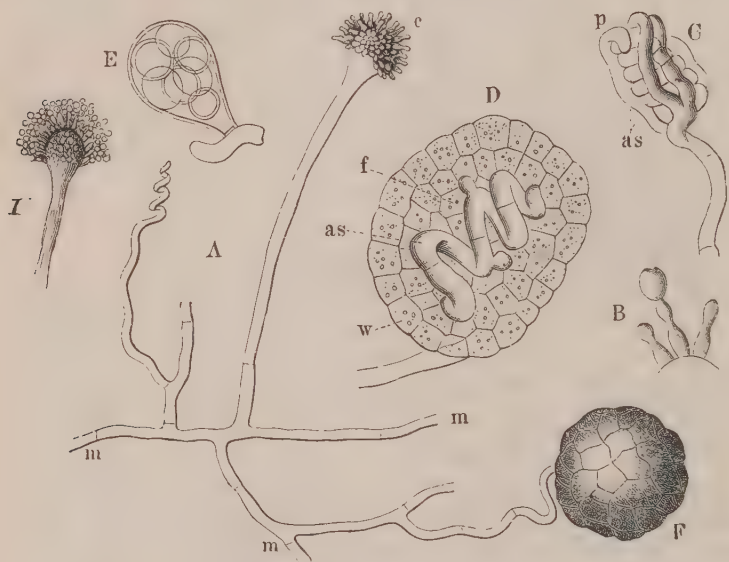


Fig. 11.  
*Aspergillus glaucus*.

- A. Stück eines Mycel's *m*, mit einem Conidienträger *c* und einem jungen Eurotium-Perithecium *F*. 190:1.  
B, B' Conidienträger mit Basidien und Conidien. B. einige Basidien stärker vergrößert.  
C. Ascogon von den Pollinodien umwachsen. D. Junges Perithecium im Längsschnitt: *w* die zukünftige Wand, *f* das Füllgewebe. 250:1.  
E. Ein Ascus mit Sporen aus einem Perithecium. 600:1. (Nach DE BARY.)

Gattung *Apiosporium*. Russschwarze Ueberzüge auf Pflanzen; sehr kleine Perithechien, von schwarzbraunem, Conidien tragendem Mycel umgeben. Der Conidienzustand wird als *Torula* beschrieben (s. unten).

Gattung *Eurotium*. Perithechien kuglig, krustig hart, auf hellgefärbtem Mycel; Sporen rundlich linsenförmig, einzellig, farblos, meist 8 in jedem Sporenschlauch. Die Entstehung der Perithechien erfolgt durch geschlechtliche Befruchtung in der oben beschriebenen Weise (s. S. 56).

*Eurotium herbariorum*. Perithechien 0,11—0,17 Mm. Durchmesser; goldgelb, auf grauweissem oder rothgelbem Mycel; hell- oder



goldgelber Ueberzug auf Fruchtsäften etc. — Das Mycel entwickelt häufig nur die Conidienträger und ist dann identisch mit dem bisher als besondere Pilzform unterschiedenen *Aspergillus glaucus*; die Gattung *Aspergillus* ist daher an dieser Stelle zu beschreiben.

**Aspergillus, Kolbenschimmel** (Fig. 11). Fruchthyphen meist einfach; wenig oder gar nicht septirt; an der Spitze zu einer kolbenförmigen Blase erweitert, die mit einem Strahlenkranz von kurzen einfachen Basidien besetzt ist; auf diesen werden kuglige einzellige Sporen abgeschnürt. — Sehr verbreitete Schimmelpilze, hell oder blass gefärbt. Etwa 10 deutsche Arten. — *Aspergillus glaucus*, wegen seiner Zugehörigkeit zu *Eurotium herbariorum* auch *Eurotium Aspergillus glaucus* genannt. Mycel anfangs weisslich, dann graugrün oder gelbgrün; Sporen graugrün, dickwandig, warzig; 0,009—0,015 Mm. Durchmesser. — *A. candidus*, Mycel, Fruchthyphen und Sporen weiss. — *A. nigrescens*, weisses wolliges Mycel; einfache, selten gablig getheilte Fruchthyphen und dunkelbraune oder schwarze Sporen. — *A. fumigatus*, weisses Mycel, Fruchthyphen mit braunen Köpfchen; längliche Basidien, Sporen grün, rund, glatt, 0,003—0,004 Mm. Durchmesser. — *A. flavescens*, gelblichgrün; Sporen 0,006—0,007 Mm. im Durchmesser, mit zarter, feinwarziger Hülle.

Die *Aspergillus*-arten haben in neuerer Zeit besonderes Interesse dadurch erregt, dass einzelne von ihnen im thierischen Körper zu wachsen vermögen; nach Injection grösserer Mengen von Sporen in die Blutbahn bilden sich zahlreiche Mycelien dieses Pilzes in den verschiedensten Organen, und die Versuchsthiere gehen an dieser Mykose zu Grunde (Fig. 12). Auch auf die Cornea lassen sich *Aspergillus*-sporen mit Erfolg übertragen (LEBER, 199). Es scheint jedoch, als ob nur ein-

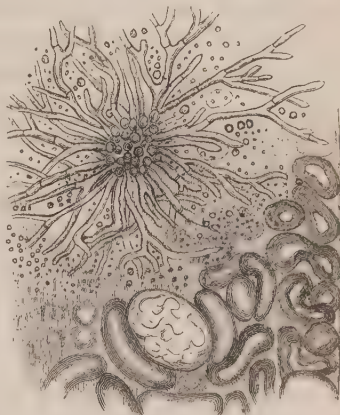


Fig. 12a.  
Mikroskopischer Schnitt aus der Niere eines 36 Stunden nach der Sporeninjection getödteten Kaninchens. (Nach GRAWITZ.)



Fig. 12b.  
*Aspergillus*-Cultur, aus der Niere eines nach Injection von Sporen getödteten Kaninchens. (Nach KOCH.) 100:1.

zelenen Arten dieser Gattung infectiöse Eigenschaften zukämen; Versuche mit *Asp. glaucus* und *Asp. nigrescens* fielen bisher negativ aus, während Sporen von *Aspergillus fumigatus* und *Asp. flavescens* stets zu Mykose führten.<sup>1)</sup> Nach GRAWITZ soll eine Infection nur dann gelingen, wenn der Pilz allmählich an ein flüssiges, alkalisches Nährsubstrat und an die Körpertemperatur angezöhnet ist. Diese Ansicht ist indessen als unrichtig erwiesen (KOCH, LICHTHEIM, LEBER), und der Irrthum dadurch bedingt, dass der *A. glaucus* sehr schwer bei niederer Temperatur gedeiht, in vorzüglicher Weise aber bei 38—40°; es ist daher wahrscheinlich, dass bei niederer Temperatur andere Pilze (*Penicillium*) sehr leicht die Oberhand gewinnen und dadurch die Unwirksamkeit der ohne besondere Cautelen kalt gezöhteten Culturen bedingen; während bei höherer Temperatur die Cultur des *Aspergillus* besonders gut gelingt und dann in jedem Falle ein infectionstüchtiges Material resultirt, einerlei ob das Nährsubstrat flüssig oder fest war.

#### k) *Tuberaceae*.

Trüffelartige Pilze, die ein im Boden ausgebreitetes Mycel und knollenförmige Fruchtkörper besitzen. Dieselben haben im Allgemeinen kein hygienisches Interesse; erst neuerdings ist von BREFELD indessen nachgewiesen (24), dass die geschlechtliche Fruchtförm des gemeinsten Schimmelpilzes, des *Penicillium*, den *Tuberaceen* am nächsten steht oder richtiger als Verbindungsglied zwischen diesen und *Eurotium* anzusehen ist. — Unter bestimmten Nährbedingungen bilden sich in dem weissen Mycelüberzuge von *Penicillium* kleine Protuberanzen, in Grösse und Farbe einem gelben Sandkorn ähnlich; dieselben sind wegen ihrer Zusammensetzung aus sehr dickwandigen Zellen als Sklerotien anzusehen. Ihre Entstehung verdanken sie einem geschlechtlichen Act, ähnlich wie die Perithechien von *Eurotium*. In den Sklerotien findet man den Keimling einer zweiten, aus dem befruchteten Ascogon hervorgewachsenen Generation, und zwar stellt sich dieser Keimling dar als ein vielarmiges, schlauchförmiges Hyphensystem. Bei geeigneter Cultur wächst aus diesen Sklerotien ein ascentragender Pilz aus; aus den so erhaltenen Ascussporen lassen sich dann die gewöhnlichen conidientragenden Mycelien von *Penicillium* gewinnen.

1) Der von KOCH gefundene pathogene Pilz wurde zuerst für *Asp. glaucus* gehalten; LICHTHEIM zeigte neuerdings (Berl. klin. Woch. 1882, No. 9 u. 10), dass namentlich auf Grund der Grössenverhältnisse der Sporen die pathogenen Pilze nicht als *Asp. glaucus*, sondern als *Asp. flavescens* und *fumigatus* diagnosticirt werden müssen. — Vgl. LEBER, Berl. klin. Woch. 1882, No. 11.

Das conidientragende *Penicillium* hat gegliederte Fruchthyphen, welche baumförmig verzweigt sind, indem nur aus der oberen Gliederzelle ein Quirl aufrecht stehender Aeste pinselförmig hervortritt, deren jeder eine Sporenkette oder erst nochmals einen Quirl von Aesten mit den Sporenketten trägt. Sporen kuglig, einzellig. — *Penicillium glaucum*, der gemeinste Schimmelpilz (Fig. 13); verursacht flockige, anfangs weisse, später blaugrüne Schimmelüberzüge. Wächst auf den verschiedensten Nährsubstraten; ist überall verbreitet und seine Sporen schleichen sich daher sehr häufig in fremde Culturen ein. Bei höherer Temperatur ( $38-40^{\circ}$ ) scheint er zu verkümmern; nach GRAWITZ soll eine Anzüchtung an höhere Temperaturen gelingen, die den Pilz dann befähigt, im thierischen Körper zu wachsen (s. unter *Eurotium*); doch konnte diese Angabe nicht bestätigt werden. — Der Durchmesser der Sporen beträgt  $0,0035$  Mm.; der der Fäden schwankt je nach der Ernährung zwischen  $0,004$  und  $0,00071$  Mm. Sehr kümmerliche Formen sind unverzweigt und tragen nur eine einzige Kette von Conidien; bei üppigster Entwicklung lagern sich mehrere Fruchthyphen zu einem dicken Stamm zusammen (*Coremium*), an dessen oberem Ende sie wieder auseinander-treten, um in der oben beschriebenen Weise Conidienketten zu bilden.

#### 1) *Pyrenomycetes*.

Einige dieser Pilze leben parasitisch auf Pflanzen, gelangen aber meist erst nach dem Absterben der Pflanze zur vollkommensten Fructification; einige schmarotzen auf Insecten; andere sind echte Fäulnissbewohner. —

Sehr viele *Pyrenomyceten* haben mehrere verschiedenartige Fructificationsformen, die auf demselben Mycel gleichzeitig oder nach einander auftreten; diese sind 1) *Peritheccien*; dieselben sind charakteristisch für alle *Pyrenomyceten*; sie sind die höchst entwickelten Fructificationsorgane und erscheinen am spätesten. Sie bestehen in kleinen runden oder flaschenförmigen Behältern, welche in ihrem



Fig. 13.  
*Penicillium glaucum*.  
m. Mycelhyphæ mit aufwärts gerichteter Fruchthyphæ.



Innern Asci, Sporenschläuche, enthalten und welche sich dadurch von den Peritheciën der Perisporiaceen unterscheiden, dass sie am Scheitel eine natürliche Oeffnung besitzen. Ausser den Ascis enthalten die Peritheciën im Innern meist noch dünne haarartige Gebilde, Paraphysen, die zwischen den Sporenschläuchen stehen. Bei vielen findet sich ein Stroma, d. h. ein aus zahlreichen Peritheciën zusammengesetzter Fruchtkörper. — Die einzelnen Asci werden zu verschiedenen Zeiten reif; jeder enthält gewöhnlich 8 Sporen. — Der Anlage der Peritheciën scheint auch bei dieser Familie eine geschlechtliche Befruchtung vorauszugehen. 2) Conidienträger, Fruchttträger, welche die Sporen frei an der Oberfläche durch Abschnürung erzeugen; und zwar entweder getrennt auf dem Mycel senkrecht stehende Hyphen, auf dem Substrat meist einen schimmelartigen Ueberzug bildend; oder conidientragende Stromata, bei welchen zahlreiche Basidien zu einer gleichmässigen Schicht, einem sog. Hymenium, vereinigt sind. 3) Spermogonien, den Peritheciën ähnliche Fruchtkörper; sie schliessen eine Höhlung ein, auf deren Innenwand sich eine Hymeniumschicht von Basidien ausbreitet, welche zahlreiche sehr kleine, runde, stäbchen- oder sichelförmige Sporen (Spermation) abschnüren. 4) Pycniden. Fruchtkörper, welche von den Spermogonien sich nur durch die grösseren ein- oder mehrzelligen, meist gebräunten Sporen (Stylosporen) unterscheiden.

Wo alle 4 Fruchtformen vorkommen, da treten gewöhnlich zunächst die Conidienträger, dann ziemlich gleichzeitig Spermogonien und Pycniden, dann Peritheciën auf. Die verschiedenen Sporenarten können unter Bildung von Keimschläuchen keimen, jedoch mit Ausnahme der Spermation, deren Bedeutung daher noch ganz zweifelhaft ist.

Die Pyrenomyceten sind kleine, meist dunkel gefärbte, hornartige oder kohlig krustige Pilze; eine grosse Anzahl von ihnen sind eigentliche Fäulnissbewohner, andere schmarotzen auf Thieren, besonders aber auf Pflanzen und erzeugen bestimmte Pflanzenkrankheiten. Gegen 900 deutsche Arten. Die wichtigsten sind folgende:

α) Gattung *Claviceps*. *Claviceps purpurea* (Fig. 14). In den Fruchtknoten von Gramineen; der Pilz erzeugt in den Blüthen ein conidientragendes Stroma, das sich als schmutzig-weiße, käseartige Masse darstellt (*Sphacelia*, s. unten); die zahllosen Conidien quellen mit einem vom Pilze secernirten zuckerhaltigen, klebrigen Saft (Honigthau) aus der Blüthe hervor. Durch die Conidien wird der Pilz sofort weiter fortgepflanzt; dann aber verwandelt sich das Pilzmycel allmählich in ein schwarzes Sclerotium, das zu hornartiger Gestalt



auswächst (1—3 Cm. lang, aus der Blüthe hervorragt und den abgestorbenen und vertrockneten Rest des Mycel wie eine Mütze von schmutzig gelblicher Farbe anfangs noch auf der Spitze trägt. Dies Sclerotium überwintert, keimt im Frühjahr auf feuchtem Boden und entwickelt perithecienträgende Stromata als kleine gestielte röthliche Köpfchen. Die Peritheciën sind an der Oberfläche des Kopfes eingesenkt; die Sporen sind fadenförmig, einzellig. Das Sclerotium, welches einen walzenförmigen, der Länge nach gefurchten, schwarzvioletten

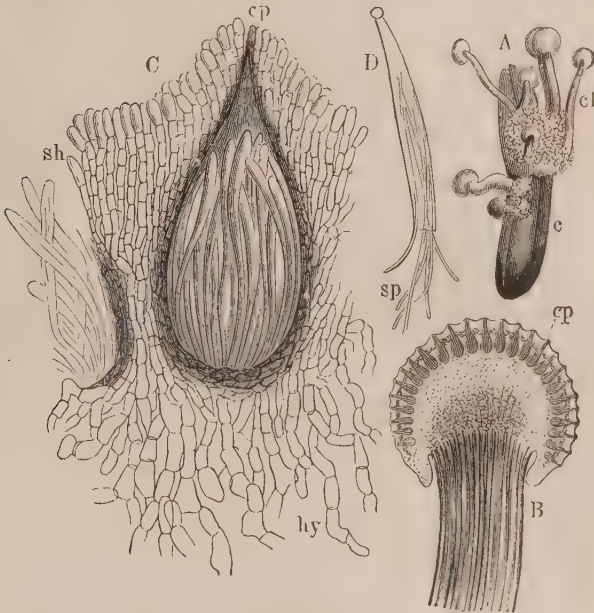


Fig. 14a.

Claviceps purpurea.

- A. Keimendes Sclerotium (c) mit Fruchträgern (cl).  
 B. Oberer Theil eines Fruchträgers im Längsschnitt; cp eingesenkte Peritheciën. Stärker vergrößert.  
 C. Durchschnitt durch ein Perithecium. sh äussere Gewebsschicht; hy Hyphengeflecht; cp Mündung des Peritheciums.  
 D. Ascus, zerrissen und die fadenförmigen Sporen sp entlassend.

Körper darstellt, der inwendig weiss oder röthlich und hart wachsartig ist, ist als Mutterkorn bekannt (*Secale cornutum*); es entsteht am häufigsten in den Blüthen des Roggens, seltener der Gerste und des Weizens. Feuchte Lage begünstigt das Auftreten. (Lit. 171.)

β) Gattung *Cordyceps*. Ungefähr 10 Arten, einige auf abgestorbenen Schwämmen, andere (*Cordyceps militaris* und *entomorrhiza*) auf todtten Puppen und Raupen von Schmetterlingen. Gelbe fleischig-weiche Pilze; das weisse flockige Mycel lebt auf den Lei-

chen der Raupen, aus deren Körpern die gestielten keulenförmigen Stromata hervorwachsen. Perithezien oberflächlich vorragend; Sporen fadenförmig, in viele kurze Zellen gegliedert. Mit den Ascosporen lassen sich gesunde Raupen inficiren. (Vgl. Isaria, S. 68.)

γ) Gattung *Byssothecium*, Wurzeltöchter. Das Mycel bildet auf lebenden Wurzeln ausgebreitete violette faserige Häute; die Wurzeln wer-



Fig. 14 b.

*Claviceps purpurea*.

A. Stück einer Roggenähre mit einem Mutterkorn c; s Reste der Sphacelia.

B. Gesunder, C. inficirter Fruchtknoten des Roggens zur Blüthezeit; s Sphacelia; f absterbender Fruchtknoten.

D. Die Sphacelia s in ihrem unteren Theile c zu einem Sclerotium umgewandelt.

E. Längsschnitt durch den oberen Theil von D.

F. Stück eines Querschnitts durch die Sphacelia. (Nach TULASNE).

den getödtet und die Pflanze stirbt ab. Die Perithezien entstehen erst auf ganz faulen Wurzeln; dieselben sitzen oberflächlich, sind meist kuglig, mit vollkommen runder porenförmiger Mündung, schwarz; Sporen mehrzellig und gefärbt, zu 8 in den Schläuchen. Meist Generationswechsel. Befällt und tödtet namentlich die Wurzeln der Luzerne, der Zucker- und Futterrübe, die Zwiebelknollen des Safrans, die Kartoffel etc. (Pockenkrankheit der Kartoffeln, mit Pusteln auf der Schale der Knollen, Sklerotien darstellend).

δ) *Fumago*, Russthaupilz. Schwarze Ueberzüge auf lebenden Blättern und Zweigen. Längliche verticale Perithecieen, Sporen braun mit mehreren Scheidewänden; verschiedene Protosporenformen (vgl. *Cladosporium*). Macht die befallenen Bäume krank; feuchte Witterung und geschlossene Lage wirken begünstigend; die vom Honigthau der Blattläuse klebrigen Stellen bieten den Sporen besonders günstige Angriffspunkte.

ε) *Pleospora*. Das schwarze oder dunkelbraune Mycel überzieht meist abgestorbene Pflanzentheile; wobei die Fäden in die Epidermis eindringen; verschiedene Protosporenformen; Perithecieen rundlich, Sporen mit Quer- und Längsscheidewänden, mauerförmig. Greifen auch auf lebende Theile über und bringen diese zum Absterben; dies geschieht im Sommer, wo das Mycel in der Regel erst Conidienträger besitzt; als solche werden sie daher meist mit besonderem Namen aufgeführt (*Cladosporium*, *Sporidesmium*, *Stemphylium* etc.). — Eine Art bewirkt den sog. schwarzen Rost der Hyacinthenzwiebeln.

ζ) *Sphaerella*. Perithecieen unter der Epidermis in lebenden oder abgestorbenen Blättern. Sporen ei- oder keulenförmig, farblos. Bilden die Fleckenkrankheit der Blätter an sehr vielen Kräutern und Holzpflanzen, so an den Maulbeerblättern. (Vgl. *Sep-toria*, *Depazea*, S. 68).

#### η) *Laboulbenia*.

(Lit. 190). Schmarotzen auf Insecten; Perithecieen in einen Hals verlängert, auf einem stielartigen Träger, welcher ohne Mycel dem Substrat unmittelbar aufsitzt. Sporen zweizellig, spindelförmig, farblos. Besonders auf Laufkäfern und auf Stubenfliegen (13 Arten); die länglichen, dunkelbraunen, aufrechtstehenden Perithecieen überziehen die Oberfläche der Thierleiber mit einem braunfilzigen Ueberzuge.

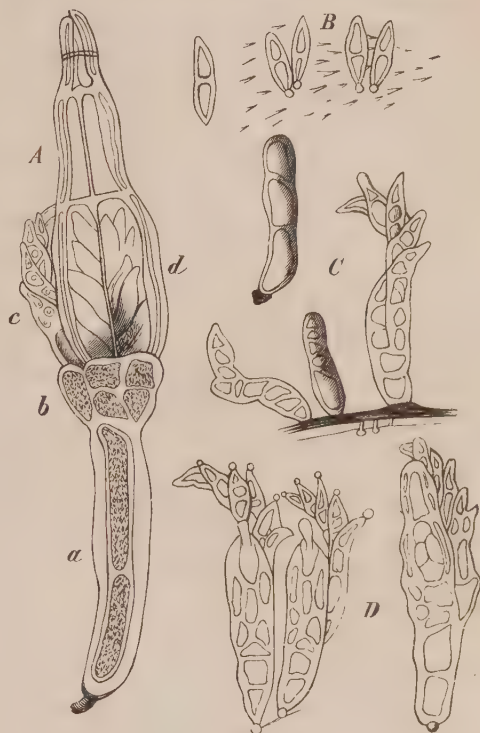


Fig. 15.

*Laboulbenia muscae*.

A. Reifes Exemplar; a. Stiel des Peritheciums, b. Fruchtlager, c. Seitenzweig, d. Perithecium. 350:1.

B. Auf dem Flügel keimende Sporen.

C. Theilung in der oberen Zelle der Spore und Anlage des Zweiges.

D. Der Zweig ausgebildet; Anlage des Peritheciums. (Nach PEYRITSCH.)

Bei *L. muscae* (Fig. 15, S. 67) keimen die spindelförmigen zweizelligen Sporen sogleich, und zwar sind sie am besten auf den Flügeln der Fliegen zu beobachten; dort treiben sie einen kurzen Fortsatz, eine Art Haustorium, durch die obere Membran, richten sich dann gerade in die Höhe, und nun entsteht aus der oberen Zelle der Spore ein nach seitwärts gekrümmtes, eigenthümlich zweigartiges Organ, aus der unteren Zelle dagegen das Perithecium. Eine conidientragende Generation ist noch nicht aufgefunden. — Der Pilz verbreitet sich während der Begattung von einer Fliege zur anderen, und daher kommt es, dass die Weibchen besonders am Rücken und Kopf, die Männchen dagegen an den Beinen inficirt werden. Eigenthümlicherweise alterirt der Pilz das Wohlbefinden der Fliegen in keiner Weise, sondern sie bewegen sich völlig munter mit ihren parasitischen Auswüchsen.

#### Anhang: Protosporenformen der Ascomyceten.

Die Protosporenformen vieler Pyrenomyceten und Perisporiaceen sind früher als besondere, selbstständige Pilzarten beschrieben, jetzt aber als vorläufige Fruchtförmigkeiten anderer Pilze erkannt und daher an anderer Stelle einzureihen (*Aspergillus*, *Penicillium* etc.); zu einigen solcher Protosporenformen sind die zugehörigen höheren Fructificationen noch nicht gefunden; dieselben werden desshalb einstweilen noch selbstständig aufgeführt, obwohl sie durch ihre Aehnlichkeit mit anderen genauer erkannten Pilzen ihre Zugehörigkeit zu gewissen Ascomyceten documentiren.

Die Protosporenfrüchte sind entweder Spermogonien, oder conidientragende Stromata, oder conidientragende Fruchthyphen.

1) Von den Spermogonien tragenden Pilzen sind hier nur *Sepatoria* und *Depazea* zu erwähnen, die hauptsächlich den oben beschriebenen Pyrenomyceten *Sphaerella*, *Sphaeria* etc. zugehören. Die punktförmigen Spermogonien sind in dünnen Flecken lebender Blätter eingewachsen; die spindelförmigen, einzelligen Spermogonien werden in Ranken aus der porenförmigen Oeffnung ausgestossen oder zerfallen am Scheitel unregelmässig.

2) Die Pilzformen, welche conidientragende Stromata besitzen, kommen meist nur auf faulenden Pflanzentheilen vor, seltener auf lebenden Thieren oder Pflanzen. Zu erwähnen sind:

α) Die Gattung *Isaria*. Die Pilze sind die Conidienträger der Gattung *Cordyceps* (S. 65) und unterscheiden sich von dieser dadurch, dass sie sich im lebenden Thier entwickeln und dieses tödten, während erst auf den todtten Thieren die keulenförmigen Stromata, die für *Cordyceps* charakteristisch sind, sich ausbilden. — Bei der *Isaria*-



form findet man ein aufrechtes keulenförmiges Stroma, dessen oberer Theil zahlreiche abstehende Fäden trägt, an deren Spitzen die einzelligen, kugeligen Sporen sitzen. Etwa 20 Arten; am wichtigsten *Isaria farinosa* (Fig. 16). Auf zahlreichen Puppen und Raupen. Bringt man Sporen auf gesunde Raupen, so dringen die Keimschläuche durch die Stigmen in die Tracheen; die eingedrungenen Fäden erzeugen im Blut cylindrische Conidien; aus diesen bildet sich schliesslich das den Körper durchwuchernde Mycel, das erst nach dem Tode des Thieres seine volle Ausbildung erhält und dann die Leichen wie mit weissem Flaum umhüllt.

Zu dieser Classe der Protosporenfrüchte gehört ferner die Gattung *Coremium*, Besenschimmel, dessen weissgelbes Stroma mit weissgrünen Sporen häufig auf faulenden Substanzen vorkommt und gleichsam nur ein aus vielen Fruchthyphen vereinigt Penicillium darstellt. — Ferner *Fusisporium*, Spindelschimmel; das Stroma besteht hier nur aus locker verflochtenen verzweigten Fäden, welche je eine spindelförmige, mit Querscheidewänden versehene Spore abschnüren. Bildet weisse und gelbliche Häufchen, namentlich auf faulenden Kartoffeln und besonders solchen, die durch die Kartoffelkrankheit zu Grunde gegangen sind (S. 53). — Ferner gehört dahin die Gattung *Sphacelia*; käseartig weiches Stroma, an der Oberfläche überall überzogen mit dem Hymenium, dessen kurze einfache Basidien länglichrunde farblose Sporen abschnüren. Vorläufer des Mutterkorns, s. S. 65.

β) Die Gattung *Selenosporium*; kleine helle oder röthliche Häufchen auf faulenden Pflanzentheilen; Stroma polsterförmig, verzweigte sporentragende Fäden, Sporen spindelförmig, gekrümmt, mit Querscheidewänden. — In grossen Mengen in den Wasserleitungen Münchens beobachtet.

3) Pilze mit conidientragenden Fruchthyphen, die aus dem schimmelartigen Mycel entspringen. Etwa 400 Arten, die gewöhnlichsten Schimmelpilze und verschiedene echte Parasiten umfassend.

Die Gattungen *Aspergillus*, *Penicillium*, *Oidium* sind bereits oben beschrieben worden, s. S. 61, 63, 58.

Ferner gehören hierher:

α) *Sporendonema*, röthlicher Schimmel auf altem Käse, dem *Oidium*

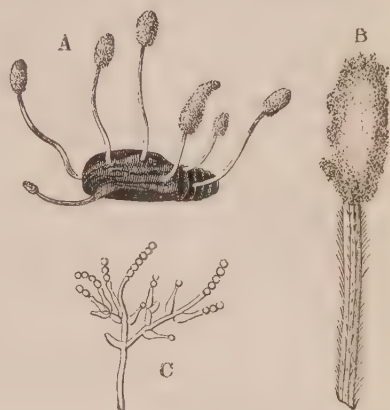


Fig. 16.  
*Isaria farinosa*.

A. Auf einer Schmetterlingspuppe, in nat. Grösse.  
B. Ein Stroma, schwach vergr.  
C. Sporentragende Fäden, stark vergr.

ganz ähnlich, nur entstehen die Sporen dadurch, dass die länglich angeschwollenen Enden der Hyphen sich in eine Reihe von Sporen abtheilen.

β) *Cladosporium*. Kleine dunkle Rasen auf trockenen Blättern und Aesten; dunkel gefärbte Fruchthyphen mit einer Kette länglicher, dunkler, mit Querscheidewänden versehener Sporen. — Etwa 20 Arten, die als Protosporenform zu *Fumago* oder *Pleospora* gehören, s. S. 66 u. 67.

γ) *Botrytis*, Traubenschimmel. Fruchthyphen sind an der Spitze in kurze dichtstehende Aestchen getheilt, auf welchen die einzelligen Sporen fast kopfartig zu einer staubigen Masse angehäuft sind; weisse bis schwarze schimmelartige Pilze, auf faulenden Pflanzentheilen, aber auch parasitisch auf Insecten. — *B. cinerea*, graue Rasen an abgestorbenen Pflanzentheilen. Bildet die Conidienträger von *Peziza Fockeliana* (s. S. 71).

*Botrytis Bassiana*, Muscardinepilz (Fig. 17). Hyphen und Sporen farblos. Die Hyphen meist einfach, zuweilen aber zu baum-



Fig. 17.  
*Botrytis Bassiana*.

A. Sporentragende Stücke von Fruchthyphen. 390:1.

B. Sporentragende Zweige, bei b die meisten Conidien abgefallen. 700:1.

C. Pilzfäden aus der inneren Hautlage einer Raupe, bei c reichlich Cylinderconidien abschnürend. 390:1. (Nach DE BARY).

artigen Stämmen vereinigt und dann der *Isaria* (S. 68) ähnlich. — Der Pilz ist die Ursache der Muscardine (Lit. 176), einer tödtlichen Seidenraupenkrankheit, kommt aber auch auf verschiedenen anderen hier einheimischen Schmetterlingsraupen und auf Insecten vor. Der Pilz gelangt von aussen durch die Haut in den Körper; die Keimschläuche dringen tief in die Muskelbündel und Fettläppchen, wo sie dann an ihren Seiten und Spitzen cylinderförmige Conidien abschnüren; letztere vermehren sich im Blut und bilden, indem sie in die Länge wachsen und Querscheidewände bekommen, das weitverbreitete Mycel. Aus diesem wachsen dann die zahlreichen Fruchthyphen her-

vor, welche die mumienartig erstarrte Leiche mit einem schneeweissen Schimmel überziehen. — Die Sporen keimen auch auf Wasser und Nährlösungen (Zuckerlösung, Gelatine etc.).

δ) *Acrostalagmus*. Die zinnoberrothen Köpfe durch Schleim verklebt; bildet rothe Schimmelüberzüge an faulen Vegetabilien, namentlich an Kartoffeln, die durch Kartoffelkrankheit getödtet sind (S. 53).

ε) *Spicularia*. Doldenförmig verzweigte Fruchthyphen; auf dem Ende jeden Astes ein Köpfchen ovaler Sporen. Bei der Gelbsucht des Weinstocks, dessen Blätter bald nach der Blüthezeit citrongelb werden und dann auf kleinen braunen Flecken der Unterseite den Pilz zeigen. Die Krankheit hat im Aeusseren Aehnlichkeit mit der durch die Reblaus verursachten Veränderung des Weinstocks.

ζ) *Staphylosporium violaceum*; einfache Fruchthyphen, mit einem oder mehreren Quirlen eiförmiger, dunkelblauer Sporen. Entwickeln sich auf dem Mycel, welches die Weissfäule des Holzes verursacht und häufig auch ohne Fructification unter der Bezeichnung *Nyctomyces* vorkommt.

η) *Stemphylium* (sehr kurze Fruchthyphen, braune Sporen) und *Sporidesmium* (ohne Fruchträger, keulenförmige Sporen aufrecht auf dem undeutlichen Mycelium) stellen Protosporenformen von *Pleospora* (S. 67) dar.

θ) *Xenodochnus ligniperda*. Vielfach verzweigtes farbloses oder hellbraunes Mycel, an den Enden und Seiten eine walzenförmige braune, kettenförmig eingeschnürte Spore tragend. Kommt bei der Rothfäule des Holzes vor; die Mycelfäden wuchern selbst in der festen Substanz der Zellwände. Das Mycel ist als *Nyctomyces fuscus* beschrieben. Es ist noch zweifelhaft, ob der Pilz die Ursache der Fäule ist oder ob er erst im abgestorbenen Holze entsteht.

ι) *Lanosa nivalis*. Schneeschimmel. Keine Fruchthyphen, Mycel aus verfilzten Fäden, an deren Seiten büschelweise längliche Sporen mit Querwänden stehen. Mycelium weiss, auf der Erde und auf Pflanzen unter dem Schnee; stellenweise rothe Staubhäufchen, welche aus Sporen bestehen.

κ) *Polydesmus*. Das dünne Mycel trägt aufrechte, oft verzweigte Ketten, welche in die unregelmässig spindelförmigen, braunen Sporen zerfallen. *P. exitiosus*, Rapsverderber; Mycel aus braunen verästelten Fäden, die nach aussen zahlreiche Sporenketten entwickeln; befällt die Schoten der Rapspflanze und zerstört dieselben. — Die Perithezienform des Pilzes, *Septosphaeria napi*, kommt auf dünnen Stoppeln des Raps und Rüben vor.

λ) *Torula*. Mycel aus kriechenden, sehr ästigen Fäden. Sporenketten aus der Seite der Mycelfäden entspringend; rosenkranzförmig in kugelige oder länglich-runde einzellige Sporen zerfallend. — Meist dunkle, staubige Ueberzüge auf abgestorbenen und lebenden Pflanzentheilen bildende Pilze, welche Conidienformen verschiedener *Pyrenomyceten* und *Perisporiaceen* darstellen. — 50 Arten. — Auf lebenden Zweigen der Edeltanne und der Ulme; diese Arten sind die Conidienformen von *Apiosporium*.

μ) *Sterigmatocystis*. Wie *Aspergillus*, aber Basidien länglich, mit je 2 Sterigmen. *S. antacustica*, im menschlichen Ohr beobachtet; weisses Mycel, Fruchthyphen mit schwarzen Sporenköpfchen.

Ueber die früher hierher gezählten Microsporon furfur, Achorion Schoenleinii, Trichophyton tonsurans s. S. 58.

### m) *Discomycetes*.

Die Discomyceten sind den Pyrenomyceten sehr ähnlich und unterscheiden sich von diesen hauptsächlich nur dadurch, dass die Hymeniumschicht der Fruchtkörper wenigstens zur Reifezeit an der Oberfläche des Körpers frei liegt. Gewöhnlich stellt das aus Sporenschläuchen und Paraphysen bestehende Hymenium eine oberflächliche concave oder convexe Scheibe dar von horniger, wachs- oder gallertartiger Beschaffenheit; die Fruchtkörper zeigen sehr verschiedene Formen, bald Keulen oder Hüte, bald Gehäuse etc. — Auch hier treten verschiedene Fructificationsformen auf; entweder ausser den Hymenien noch Spermogonien und Pycniden, oder auch Fruchthyphen oder Stromata mit Conidien; zuweilen bildet das Mycel Sklerotien. — Sie wachsen theils auf blosser Erde, theils auf faulenden Pflanzentheilen, theils als Parasiten auf Pflanzen. — Ungefähr 800 Arten, darunter zahlreiche grosse essbare Pilze, wie die Morchel, der Eichelschwamm etc. — Von parasitischen oder durch ihr sonstiges Verhalten interessirenden Arten sind folgende zu erwähnen:

α) *Peziza*, Becherpilz. Fruchtkörper becher- oder napfförmig; Scheibe anfangs geschlossen, später offen. Meist sehr kleine Pilze. Einige Arten schmarotzen im Klee und Hanf und erzeugen den Kleekebs resp. Hanfkebs. *P. Fuckeliana*, auf kleinen Sklerotien, auf faulenden Rebenblättern. Die zugehörigen Conidienträger bilden den oben erwähnten Pilz *Botrytis cinerea* (S. 69). — Gegen 300 Arten.

β) *Ascobolus*. Fruchtkörper becherförmig, Scheibe schwarz punktiert; Sporen schwarz, stäubt die Sporen umher, indem gleichzeitig sämtliche reife Asci ihren Sporenhalt elastisch herausspritzen. Auf Koth von Herbivoren.

γ) *Hypoderma*. Das Mycel entwickelt sich parasitisch in noch lebenden Pflanzentheilen, so in den Nadeln der Fichte und der Weiss-tanne und erzeugt hier die Krankheit, die als Ritzenschorf bekannt ist. Auf den abgefallenen Nadeln bilden sich zunächst Spermogonien, im folgenden Sommer die Peritheccien, welche ihre Reife im nächsten Frühjahr erreichen. Die unter der Oberhaut hervorbrechenden Peritheccien sind länglich, öffnen sich mit Längsspalte, die farblosen Sporen sind länglich cylindrisch, fast so lang als der Schlauch. — Die Spermogonienform bildet die *Septoria pini*, vgl. S. 68.

## IV. Basidiomycetes.

### n) *Uredineae*.

Pflanzenbewohnende Schmarotzer. Das fädige Mycel wuchert zwischen den Zellen der Nährpflanze, die unter der Epidermis ent-



stehenden Fructificationsorgane durchbrechen dieselbe in Form von kleinen, oft rostfarbenen Staubhäufchen oder Flecken, die aus dichtgedrängten Basidien bestehen. Meistens findet sich ein ausgeprägter Generationswechsel (s. S. 46); früher wurden die verschiedenen Fructificationsformen als besondere Pilzspecies beschrieben — *Uredo*, *Puccinia*, *Aecidium* —, während jetzt diese früheren Gattungsnamen nur für die besondere Sporenart der nämlichen Pilzgattung gebraucht werden. (Lit. 171 ff.)

Die Art und Weise des Generationswechsels lässt sich am besten an einem Beispiel erklären. — *Puccinia graminis*, der Getreiderost, der auf vielen Gräserarten vorkommt, bildet auf seinem Mycel unter der Epidermis der Nährpflanze zunächst keulenförmige Anhäufungen von Basidien, die durch Abschnürung Sporen bilden, die Epidermis durchbrechen und die Sporen als ovale Zellen, in deren Protoplasma orangeröthes Oel sich findet und deren Episorium farblos und rauh ist, austreten lassen. Diese Sporen, die sog. Uredosporen oder Sommersporen, keimen rasch und entwickeln während des ganzen Sommers stets dasselbe Mycel und dieselbe Fructification. Im Herbst aber bilden sich auf den Basidien keulenförmige Sporenzellen, die aus zwei übereinanderstehenden Zellen mit dicken, dunkelbraunen, aussen glatten Membranen bestehen; diese sog. Teleosporen oder Wintersporen keimen erst im nächsten Frühjahr, der Keimschlauch dringt aber nicht in eine Nährpflanze ein, sondern treibt nur einzelne dünnere Zweige, an deren Ende eine rundliche, farblose Zelle abgeschnürt wird. Die so gebildeten Sporidien keimen rasch, aber nicht etwa auf Gräsern, sondern auf den Blättern des Berberitzenstrauches, durch deren Epidermis die Keimschläuche der Sporidien hindurchdringen. Den nunmehr in der Berberitze entwickelten Thallus nennt man *Aecidium berberidis*; aus demselben entwickeln sich in becherförmigen Organen (*Aecidienbecher*, deren Hülle *Peridie* genannt wird), auf der Unterseite der Blätter die Epidermis durchbrechend, kurze Basidien, und auf diesen schnürt sich eine lange Reihe einfacher rundlicher Zellen mit rothgelben Oeltropfen ab. Die *Aecidiumsporen* keimen gleich nach der Reife, aber die Keimschläuche entwickeln sich nur dann weiter, wenn sie durch die Spaltöffnungen in die Blätter von Gräsern eindringen können; hier entwickelt sich dann wieder das ursprüngliche Mycel mit seinen Uredosporen und schliesst so den eigenthümlichen Kreislauf der Generationen dieses Pilzes.

In Begleitung der *Aecidien* tritt immer noch ein anderer Fruchtapparat auf, die *Spermogonien*, kleine krugförmige Behälter, die

mit behaarter Mündung zwischen den Epidermiszellen hervorragen, vorzugsweise auf der oberen Blattseite; sie entleeren ihre Spermatien noch vor der Reife der Aecidien, eine Keimung derselben ist aber bisher nicht bekannt. (Vgl. Fig. 18.)

Bei einzelnen Uredineen kommen alle 3 Generationen auf demselben Wirth vor (autöcische Pilze, s. S. 46). Bei manchen Rostpilzen fehlen eine oder zwei der Hauptgenerationen; wenn sie nur den Teleutosporenzustand besitzen, keimen diese Sporen gleich nach der Reife und beginnen die Entwicklung von neuem; existirt nur die Aecidiengeneration, so beginnt gleichfalls sofort nach der Reife

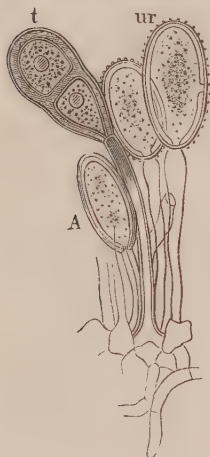


Fig. 18a.  
Getreiderost.

A. *Puccinia graminis*; ein Stück des Uredosporen-lagers mit Uredosporen *ur* und einer bereits gebildeten Teleutospore *t*.  
390:1.

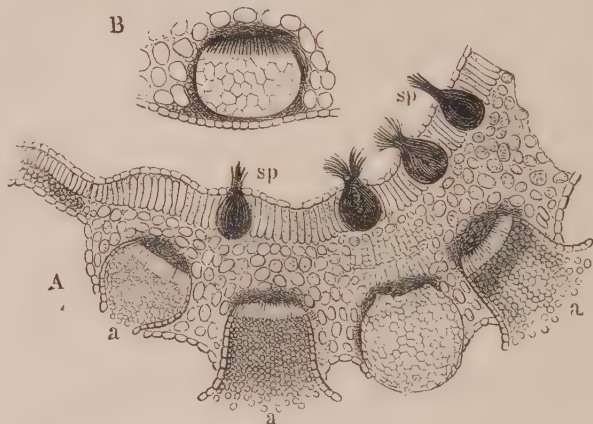


Fig. 18b.

B. *Aecidium berberidis*. Durchschnitt durch eine mit Aecidien-bechern (*a*) und Spermogonien (*sp*) besetzte verdickte Stelle des Blattes. Bei *a* untere Blattseite.  
C. Durchschnitt durch einen Jugendzustand eines Aecidiums.

der Sporen die Entwicklung, jedoch ist der Keimungsprocess dann dem der Teleutosporen ähnlich. — Die Uredineengattungen werden nach den Teleutosporen bezeichnet, weil diese bestimmte Unterschiede zeigen, während die Uredo- und Aecidiumfructification bei allen Gattungen im Wesentlichen übereinstimmt. Die Rostpilze kommen in grosser Verbreitung auf den verschiedensten Phanerogamen, auf Gräsern, Sträuchern und Bäumen vor. Feuchtigkeit des Bodens und der Luft befördern ihre Entwicklung. — Für viele Rostpilze ist der etwa bestehende Generationswechsel noch nicht festgestellt, und daher sind manche bisher als besondere Arten aufgeführte Formen in Bezug auf ihre Selbstständigkeit zweifelhaft. — Zu erwähnen sind namentlich folgende Arten:

*α) Uromyces.* Teleutosporen; dunkle Häufchen, welche durch die Epidermis lebender Pflanzentheile hervorbrechen. Sporen braun, einzellig, mit einer kurzen farblosen stielförmigen Zelle angewachsen. Vollständiger Generationswechsel, daher Aecidien und Uredosporen zugehörig. Die Uredosporen unterscheiden sich durch den Mangel des Stiels und durch das stachelige Episorium. — Ueber 20 Arten. Bedingen z. B. den Rost der Runkelrüben und der Hülsenfrüchte; die anderen Generationen auf demselben Wirth.

*β) Puccinia.* Teleutosporen. Sporen durch eine Querscheidewand in eine grössere obere und untere kleinere Zelle getheilt. Meist vollständiger Generationswechsel. — *Puccinia graminis*, Getreiderost (Fig. 18). Sporen länglich, in der Mitte eingeschnürt, Stiel fast so lang wie die Spore. Bildet lange schwarze unbedeckte Häufchen. Befällt und schädigt namentlich die verschiedenen Getreidearten. Die Uredosporen finden sich auf derselben Nährpflanze; dieselben verrathen durch die Bildung rostrother Häufchen zuerst die Krankheit, denen dann nach einiger Zeit die schwarzen Häufchen der Teleutosporen folgen. Das *Aecidium berberidis* bildet die zugehörigen Aecidien und Spermogonien. Ausrottung der Berberitzensträucher in der Nähe von Getreidefeldern schützt diese daher vor der Infection. — *Puccinia coronata*, Sporen kronenförmig mit mehreren hornförmigen Spitzen besetzt. Befällt besonders den Hafer; in Generationswechsel mit *Aecidium rhamni* des Kreuzdorns und Faulbaums. — Bei manchen Arten kommen die Aecidien auf demselben Wirth vor, so bei *P. umbelliferarum* etc.; bei einigen fehlt das Aecidium, bei anderen fehlen die Uredosporen, so dass nur Aecidium und Teleutosporen oder nur die letzteren bekannt sind.

Dahin gehören ferner die Arten: *Gymnosporangium* (auf Nadelhölzern), *Phragmidium* (an Rosaceen), *Chrysomyxa* (den gelben Rost der Fichtennadeln verursachend), *Melampsora* (Weidenrost) etc.

Die Sporengeneration *Aecidium* zeigt im Allgemeinen folgende nähere Beschaffenheit: Eine niedrige becherförmige Peridie bricht mit gezähntem Rande auf und enthält in ihrem Grunde die Basidien, auf welchen die Sporen kettenförmig abgeschnürt werden. Letztere sind gelb oder orangeroth, einzellig und haben ein feinstacheliges Episorium. Die kleinen, punktförmigen, blassgelben Peridien findet man in Häufchen auf entfärbten Flecken der Blätter oder auf verdickten Stellen der Blätter, Stengel und Blüten. Zwischen ihnen, am Rande der äcidientragenden Verdickungen, oder an der entsprechenden Stelle der Oberseite des Blattes treten, meist schon früher, sehr kleine punktförmige, dunkle Spermogonien auf. (Vgl. Fig. 18b.)

Im Ganzen existiren weniger prägnante Unterschiede zwischen den Aecidien der verschiedenen Rostarten, als zwischen den Teleutosporen. Man findet Differenzen in der Farbe und Form der Sporen, in der Gestalt der Peridie etc.; gewöhnlich werden aber die einzelnen Arten benannt nach den Nährpflanzen, auf denen sie vorkommen, z. B. *Aecidium leguminosarum*, *Aecidium rhamni* etc.

Zu *Aecidium* gehören ferner die Gattungen: *Roestelia* (Gitterrost; Peridie lang flaschenförmig; auf Pomaceen, in Generationswechsel mit *Gymnosporangium*arten), *Peridermium* (Peridie blasen- oder schlauchförmig; auf Kiefern); *Cacoma* (Lager von Basidien ohne Peridie; auf Kiefern, Lärchen etc.).

Bei der dritten Sporengeneration, *Uredo*, bilden die einzelligen, mit stacheligem *Episporium* versehenen Sporen staubige Häufchen; meist einzeln auf den Basidien, dann aber bisweilen mit einer früh verschwindenden flachen Peridie versehen; zuweilen kettenförmig sich abschnürend, dann aber stets ohne Peridie, ohne Paraphysen und ohne Spermogonien. Rundliche, meist rostrothe Haufen auf Blättern und Stengeln; die befallenen Theile werden rasch gelb und sterben vor der Zeit ab, so dass diese Sporengeneration des Rostpilzes die schädlichste ist. — Sie werden nach der Art der Sporenabschnürung, nach dem Vorhandensein von Paraphysen, nach der Farbe der Sporen unterschieden, aber ebenfalls weniger durchgreifend, als die Teleutosporen; ihre Benennung erfolgt wiederum nach der Nährpflanze, *Uredo leguminosarum*, *Uredo rosae* etc. —

#### o) *Tremellini*.

Nicht schmarotzend, meist auf abgestorbenem Holze. Ohne hygienisches Interesse.

#### p) *Hymenomyces*.

Meist grössere Pilze mit ausgebildetem Fruchtkörper und einem frei zu Tage liegenden Hymenium. Das freifädige Mycel breitet sich auf dem Erdboden, auf altem Holz etc. aus; auf demselben erhebt sich der Fruchtkörper, strauchförmig oder in Hutform. Das Hymenium bildet eine zusammenhängende, aus Basidien bestehende Haut; bei den Hutpilzen ist sie in zahlreichen Vorsprüngen aller Art, in Leisten, blattartigen Lamellen, Stacheln angeordnet. Die Hyphen des Fruchtkörpers verlaufen gegen das Hymenium, verzweigen sich büschelförmig und bilden so die kurz keulenförmigen Basidien, die senkrecht zur Oberfläche dicht aneinander gedrängt stehen. Die Basidien haben an ihrem Scheitel 4 kurze Aestchen, Sterigmen, auf welchen sich die Sporen abschnüren. — Viele essbare und giftige Pilze, deren Beschreibung in den Abschnitt „Nahrungsmittel“ gehört; z. B. die Gattung *Agaricus*, *Boletus* etc. — Von gewissem hygienischen Interesse ist ausserdem nur noch die Gattung *Merulius*, zu der *M. lacrymans*, der Haus- oder Thränenschwamm, gehört; derselbe besitzt einen ausgebreiteten, nicht hutförmigen Fruchtkörper, der



sich hautartig aus dem Mycel entwickelt und an der freien Oberseite das Hymenium trägt; letzteres ist durch niedrig netzförmig zusammenhängende Falten runzlig, gelbbraun, unten sammethaarig. Der Pilz befällt vorzugsweise das Holz von Gebäuden und dieses wird dann durch Wucherung des Mycels faul und morsch; Bedingungen, welche die Fructification hintanhaltend, aber dafür das Mycel zu um so üppigerer Entwicklung kommen lassen, sind daher besonders gefahrbringend. — Näheres s. im Abschnitt „Wohnung“.

#### q) *Gasteromycetes*.

Meist grosse Pilze. Das Hymenium liegt nicht frei an der Oberfläche, sondern im Inneren des geschlossenen bauchförmigen Fruchtkörpers. Schmarotzen nicht, sondern wachsen meist auf oder in der Erde, seltener auf abgestorbenen Pflanzentheilen. — Mehrere essbare, einige giftige Arten (vgl. unter „Nahrung“); im übrigen ohne hygienisches Interesse.

#### V. *Myxomycetes*.

Ohne Mycel; im Jugendzustand nackte Protoplasmakörper, Plasmodien, von schleimartiger Beschaffenheit und von veränderlicher Gestalt; zur Fruchtzeit verwandeln sie sich unmittelbar zu unbeweglichen Sporangien, die auch zu mehreren vereint Fruchtkörper bilden können. Die Sporen werden durch freie Zellbildung aus dem Protoplasma des Sporangiums erzeugt; bei der Keimung geht ihr Inhalt in einen nackten, mit Zellkern, contractiler Vacuole und einer langen Wimper versehenen, beweglichen Schwärmer über. Durch massenhafte Verschmelzung der letzteren entstehen wieder unmittelbar Plasmodien. — Die Plasmodien bilden meist lebhaft gefärbte, umfangreiche Massen, die sich auf faulenden vegetabilischen Substraten, auf Baumstrünken etc. entwickeln, oft nach höheren Punkten emporfliessen und einfache oder verzweigte Fortsätze aussenden und wiedereinziehen. Unter günstigen Feuchtigkeitsverhältnissen bilden sich aus den Plasmodien ziemlich rasch heerdenweise die Sporangien, als meist nur wenige Millimeter grosse gestielte oder ungestielte Blasen. Den Innenraum des reifen Sporangiums erfüllen die Sporen als ein stäubendes Pulver; dieselben sind einfache rundliche Zellen mit gefärbter Membran; bei ihrer Keimung treiben sie keinen Keimschlauch, sondern das Protoplasma tritt aus der Sporenhaut nach Art der Schwärmersporen hervor, als rundliche oder eiförmige Körper, vorn mit einer schwingenden Wimper; am vorderen Ende der Schwärmerspore liegt ein Zellkern, den hinteren Theil füllen ein oder zwei mit wässriger Flüssigkeit gefüllte Vacuolen, welche sich abwechselnd zusammenziehen und wiederausdehnen. Die Bewegung der

Schwärmer ist bald eine freischwimmende, indem durch die Thätigkeit der Wimper Achsendrehungen und Schwankungen bewirkt werden, oder amöbenartig kriechend mit Aussenden und Einziehen protoplasmatischer Fortsätze. Die Schwärmsporen vermehren sich durch Zweitheilung; schliesslich vereinigen sie sich in immer grösserer Zahl und bilden so wieder ein Plasmodium. -- Die beweglichen Zustände der Myxomyceten haben die grösste Aehnlichkeit mit den dem Thierreich angehörnden Monaden, so dass ihre Zurechnung zum Pflanzenreich einigermassen zweifelhaft erscheinen kann. -- Etwa 200 Arten.

Dahin gehört *Plasmodiophora brassicae*, ein Parasit des Kohls, welcher in den Wurzeln des letzteren Anschwellungen verursacht, und sich in den Zellen in Form eines nackten Plasmodiums findet, das später in Sporen zerfällt; (Woronin, in Pringsheim's Jahrb. f. wissensch. Botanik. Bd. 11).

#### Anhang: Sterile Myceliumformen.

Einige Pilzformen sind bisher ohne Fruchtkörper und Sporen gefunden; dieselben können daher einstweilen nicht in das System der Pilze eingeordnet werden. Die wichtigsten derselben sind folgende:

**Rhizomorpha.** Meist grosse wurzelförmig verzweigte Pilze, aus fest verwachsenen Hyphen zusammengesetzt, mit brauner Rinde und weissem Mark. Runde, 1 Linie dicke Stränge, oder 1—6 Zoll breite Bänder, oft in weiter Ausdehnung an faulen in der Erde befindlichem Holz, in Brunnenröhren und Bergwerken. Die jungen Astspitzen verbreiten im Dunkeln ein phosphorescirendes Licht.

**Hypha, Fadenschimmel.** Die Mycelfäden bilden wollige oder faserige Häute, von weisser oder gelblicher Farbe; überzieht in grösserer Ausdehnung moderndes Holz in feuchten Wohnungen, in Bergwerken etc.

**Byssus, Gruftschimmel.** Weisse, zarte, spinnewebeartige Mycelfäden, meist flockenähnliche Räschen bildend. Auf feuchtem Holz und Steinen, in Kellern, Bergwerken. In trockener Luft zusammenfallend und verschwindend.

**Dematium.** Braune Mycelfäden, dünne Ueberzüge auf faulendem Holz etc. bildend. *D. pullulans.* Fäden kriechend, anfangs farblos, später dickwandig, bräunlich, durch Querscheidewände in Gliederzellen sich theilend. Aus den Seiten der Gliederzellen treiben die Fäden oft hefeartige Sprossungen (sog. *Dematiumhefe*). Kommt häufig neben den gewöhnlichen Schimmelarten auf zuckerhaltigen Flüssigkeiten etc. zur Entwicklung; jedoch erregen die Hefezellen keine geistige Gährung und wachsen wieder zu den gewöhnlichen Fäden aus. Vermuthlich der Myceliumzustand einer *Penicillium*art.

*Chionyphe Carteri*. Bei einer eigenthümlichen Erkrankung des Fusses in Indien von CARTER beobachtet (Madurafuss). Das aus reichverzweigten Fäden bestehende Mycel dringt in das cutane und subcutane Gewebe des menschlichen Fusses und bewirkt heftige Entzündung, Eiterung und Geschwürsbildung. Langgliedrige, derbwandige Mycelfäden; an den Seitenästen endständige schwärzliche Zellen, die mit kleineren Zellen angefüllt sind (Sporangien?).<sup>1)</sup> Der ursächliche Zusammenhang des Pilzes mit der Erkrankung ist übrigens neuerdings mehrfach in Zweifel gezogen.<sup>2)</sup>

Zu den sterilen Mycelformen sind endlich noch die Hefearten zu rechnen, die indess ihrer besonderen Bedeutung wegen besser in einem speciellen Abschnitt abgehandelt werden.

Völlig fraglich in seiner Zugehörigkeit zu einer bestimmten Gruppe der Pilze ist der neuerdings als Ursache einer nicht selten beim Rind und beim Menschen auftretenden Krankheit erkannte *Actinomyces*. Die Krankheit wird besonders häufig beobachtet am Kiefer des Rindes und bildet dort eine weissliche Geschwulstmasse, die von den Alveolen der Backenzähne oder von der Spongiosa des Knochens ausgeht, letzteren aufbläht, usurirt und schliesslich nach aussen, seltener nach innen durchbricht. Die grossentheils weiche und saftige Substanz dieser Neubildung zeigt auf dem Durchschnitt eine grosse Zahl gelblicher, abscessähnlicher Heerde, aus denen man durch Abstreifen eigenthümliche, etwa hanfkorngrosse Körper erhält, die schwefelgelb gefärbt und wie fettig anzufühlen sind. Eben solche Heerde finden sich in der Rachenhöhle, im Kehlkopf, in zugehörigen Lymphdrüsen etc. verbreitet. Die erwähnten gelben Körper erweisen sich bei genauerer Prüfung als Gebilde von grob granulirtem, oft maulbeerähnlichem Aussehen und bestehen aus zahllosen dicht verfilzten Fäden. Bei leichtem Druck zerfallen die kugelig-drüsigen Körper in einzelne Pilzrasen: Complexe von hyphenähnlichen, gablig verzweigten Fäden, die, sich allmählich verbreiternd, in keulen- oder kolbenartige Anschwellungen auslaufen (BOLLINGER). Die Fäden sind gewöhnlich gestreckt, seltener leicht wellig oder selbst spiralig gekrümmt und schwellen gegen die Peripherie hin immer mehr an. Indem dieselben insgesamt von einem Mittelpunkte aus nach allen Richtungen hin ausstrahlen, muss ein Produkt entstehen, dessen Architectur am meisten an die eines dicht geschlossenen Blütenstrausses

1) *Proceed. of the Linn. Soc.* 1865. Bd. 8.

2) LEWIS u. CUNNINGHAM, 9. Rep. of the Sanit. Commissioner of India.

oder auch an die einer Krystalldruse erinnert (Fig. 19). Nach HARZ besteht jedes Einzelindividuum einer solchen Druse zunächst aus einer etwas kugelförmigen, das Mycel repräsentirenden Basalzelle. Diese entwickelt dann 2—9 mehr kurzgliedrige Hyphen, welche sich mehrfach gabelspaltig verzweigen und so zuletzt in eine grosse Zahl von Endarmen auslaufen, die schliesslich eine etwas gewölbte Trauben- oder Afterdolde darstellen. Der Durchmesser der Hyphen ist sehr ungleich; ihr Inhalt meist homogen, hellgrau oder fast farblos. Quer-



Fig. 19.

Druse von *Actinomyces* (Strahlenpilz) mit einem gesondert emporstrebenden verzweigten Faden. (Nach PONFICK).

scheidewände sind meist nicht erkennbar. Auf den Endverzweigungen der Hyphen finden sich, theils einzeln, theils 2—3 neben einander, die Vermehrungszellen, Conidien; sie sind einzellig, an Gestalt und Grösse ziemlich variabel. Bei der Aussaat auf künstlichem Nährsubstrat entwickeln die Conidien nach 24 bis 36 Stunden theils dünne Keimschläuche von verschiedener Länge, theils kurze kugelig-elliptische Sprossgebilde in der Zahl von 3—10. Die Sprossungen geschehen ganz nach Art der gewöhnlichen Hefe, nur dass die Zahl der jungen Sprossen eine grössere ist und eine Los-

trennung nicht stattfindet, so dass dieselbe in gewisser Art mit der Sprossung einer Mucorhefe-Colonie vergleichbar ist. Eine weitere Entwicklung der Pilzkeime konnte bisher nicht erzielt werden. — Trotz der beobachteten hefeartigen Sprossungen ist der Pilz vermuthlich den Schimmelpilzen zuzuzählen; und zwar stellt er vielleicht nur die noch nicht näher bekannte Conidienform eines schon bekannten höheren Pilzes dar. — Die in Thränenkanal-Concretionen gefundenen Pilzbildungen, die als *Streptothrix Försteri* unter den Spaltpilzen Stellung gefunden haben (s. unten), zeigen eine auffällige Aehnlichkeit mit *Actinomyces* und sind vielleicht mit diesem identisch; ebenso sind die von ISRAEL bei verschiedenen Kranken gefundenen Pilze als *Actinomyces* zu deuten (ISRAEL, Virchow's Arch. f. path. Anat. 74, 15. — 78, 421. — PONFICK l. c.).



Mehrfach ist in neuerer Zeit mit Sicherheit Actinomyces bei Menschen diagnosticirt; die Krankheit ist dann unter dem Bilde mehr oder weniger umfangreicher Eiterungen an verschiedenen Stellen des Körpers, namentlich aber im Bereich der unteren Hälfte des Gesichts, aufgetreten und kann als Zahnabscess, aber auch als prävertebrale Phlegmone, als Peripleuritis mit Senkungen und Metastasen, als chronische Pyämie imponiren. Dass der beschriebene Pilz wirklich die Ursache der Erkrankung darstellt, geht auch aus Infectionsversuchen hervor; bei Kälbern liess sich durch Impfung ins subcutane Gewebe (nicht durch Fütterung) eine Entwicklung der charakteristischen Tumoren hervorbringen; Kaninchen und Hunde zeigten sich unempfindlich. — In den Krypten der Tonsillen zahlreicher Menschen, sowie in den Tonsillen der Schweine sind von PONFICK resp. JOHNE Actinomyces-ähnliche Gebilde gefunden; der Pilz scheint daher in ziemlich grosser Verbreitung vorzukommen und die relative Seltenheit der Erkrankungen nur darauf zu beruhen, dass vielleicht besondere Eingangspforten, wie gewisse Traumen, die individuelle Disposition vollenden helfen müssen.<sup>1)</sup>

### *B. Sprosspilze, Hefepilze (Saccharomyces, Cryptococcus).*

Allen Hefeformen gemeinsam ist das Kennzeichen, dass sie aus einzelnen mikroskopisch kleinen Zellen bestehen, die sich durch Sprossung vermehren, d. h. dadurch, dass sich an einem oder an beiden Enden der Zelle die Zellmembran blasenartig ausstülpt, dass sich diese Ausstülpung dann mit einem Theile des Inhalts der Mutterzelle füllt, allmählich Grösse und Form derselben annimmt und sich schliesslich an der Ausstülpungsstelle durch eine Querwand von der Mutterzelle abgrenzt.

Jedoch muss man zweierlei Arten von Hefebildung unterscheiden; einmal kommt es vor, dass einzelne höhere Pilzformen unter gewissen Umständen hefeartige Sprossungen zeigen; und zweitens existirt eine Reihe von Pilzen, die nur in der Hefeform vorkommen und deren eigenthümlicher Charakter eben in der Hefesprossung besteht. Nur die letzteren gehören streng genommen zu der Klasse der Spross- oder Hefepilze. Sie haben ein weiteres gemeinsames Merkmal gewöhnlich darin, dass sie eigenthümliche und eingreifende Zersetzung ihres Nährmediums, Gährung, veranlassen können.

Von höheren Pilzen kommen folgende in Hefezuständen vor:

1) PONFICK, Die Actinomykose, Berlin, Hirschwald 1881; s. dort die übrige Literatur.

1) Einige Arten der Gymnoasci (früher auch als Taphrina bezeichnet; vgl. S. 56), bei denen die Ascosporen, in Wasser oder Zuckerlösung gebracht, hefeartige Sprossung zeigen, während dieselben an der Luft gewöhnliche Keimschläuche bilden. 2) Die Gattung Exobasidium, zu den Hymenomyceten gehörig; dieselbe schmarotzt auf Preisselbeersträuchern, auf Rhododendron etc.; die auf Basidien abgeschnürten Sporen treiben beim Keimen hefeartige Sprossungen. 3) *Dematium pululans*; s. S. 78. 4) *Mucor racemosus* (s. S. 55), der bei längerer Cultur in Flüssigkeiten unter dem Einfluss der Sättigung des Nährmediums mit CO<sub>2</sub> hefeartiges Wachsthum zeigt, wobei sich grosse und kugelförmige Zellen bilden. In zuckerhaltiger Flüssigkeit veranlasst diese Hefeform von *Mucor*, indem er durch seine starke Anziehung zu freiem Sauerstoff leicht Sauerstoffmangel und Kohlensäureüberladung im Medium hervorruft, eine Spaltung des Zuckers in Kohlensäure und Alkohol (vgl. im folgenden Abschnitt).

Bei den genannten Pilzen sind jedoch die hefeartige Sprossung und die gelegentliche Bildung von Kohlensäure und Alkohol bedeutungslose Attribute, welche namentlich die Classificirung dieser Pilze in keiner Weise berühren. Zu den eigentlichen Hefepilzen sind nur diejenigen zu rechnen, welche ausschliesslich in der Hefeform vorkommen und in dieser ihren constanten naturhistorischen Charakter besitzen. Nur solche selbständige Sprosspilze sind als gesonderte Classe von den übrigen Pilzen abzubringen und im Folgenden zu beschreiben. (Mehrfach ist freilich die Ansicht ausgesprochen, dass alle Hefe nur eine gelegentliche, durch abnorme Cultur bedingte Wachstumsform eines höheren Pilzes sei; nach BAIL gehört die Bierhefe zu *Mucor mucedo*, die Weinhefe zu *Botrytis cinerea*; nach BERKELEY gehören beide zu *Penicillium*; nach HOFFMANN, BONORDEN und HALLIER zu den verschiedensten Schimmelpilzen, namentlich *Mucor* und *Penicillium*. Aber durch die Untersuchungen von REES und DE BARY sind diese Behauptungen als irrig erwiesen. Freilich muss die Möglichkeit zugegeben werden, dass es noch gelingt, höhere Pilzformen zu finden, welche zu den jetzt bekannten Hefearten in näherer Beziehung stehen, und dass dann also die Hefepilze aufhören, als besondere Classe der Pilze zu existiren. — Lit. 63 ff.)

Bei der echten Hefe findet sich durchweg die oben beschriebene Vermehrung durch Sprossung. Die neugebildeten Zellen erzeugen weitere Tochterzellen, die sich entweder bald abtrennen und als selbständige Individuen weiter vegetiren, oder die noch eine Zeitlang mit den Mutterzellen verbunden bleiben und so Ketten und Verbände darstellen. Die Zellen haben kugelige oder ovale Gestalt, eine

farblose dünne Membran und körniges Protoplasma, welches mit Zellsaft erfüllte Vacuolen enthält (Fig. 20).

Bei verschiedenen Hefeformen (Bier- und Weinhefe, Kahmpilz des Weins) gelingt es durch eine besondere Art der Cultur noch eine andere Art der Fortpflanzung zu erzielen. Züchtet man dieselben, nachdem man sie ausgewaschen und von anhaftender Würze befreit hat, auf festem, feuchtem, wenig Nahrung lieferndem Substrat, z. B. auf Kartoffel- oder Mohrrübenscheiben, so entstehen innerhalb der Zellen durch freie Zellbildung, wie in Sporenschläuchen, 2 oder mehrere runde Zellen, die sich mit einer dicken Membran umgeben und nach einiger Zeit durch Auflösung der Mutterzellhaut frei werden; oder auch der gesammte Zellinhalt contrahirt sich zu einem einzigen kugeligen Körper. Die so gebildeten Sporen keimen in Zuckerlösung zu gewöhnlicher Hefe aus (Fig. 21). (Diese Zellbildung deutet auf eine Zugehörigkeit der Hefepilze zu den niedrigsten Ascomyceten, falls sie sich bei allen Formen constatiren lässt.)

Zuweilen bemerkt man eine Neigung zur Bildung von Mycelfäden. Cultivirt man Hefe an der Luft auf der Oberfläche fester Substanzen, so verlieren die hefeartigen Sprossungen ihre Deutlichkeit, die Einschnürungen werden weniger scharf und die ganze Kette erhält mehr die Form einer gestreckten, dickere und dünnere Stellen zeigenden hyphenartigen Zelle. Die Zellenkette stellt dann eine Myceliumhyphe mit periodisch unterbrochenem Spitzenwachsthum dar; aber niemals kommt es zur Bildung eines vollständigen, aus echten Hyphen bestehenden Mycels oder gar zur Bildung von typischen Fruchthägern. — Ausgeprägte Fadenbildung beobachtete z. B. GRAWITZ an den Zellen von *Mycoderma vini*, und zwar wurden um so längere Fäden gebildet, je zuckerärmer die Nähr-

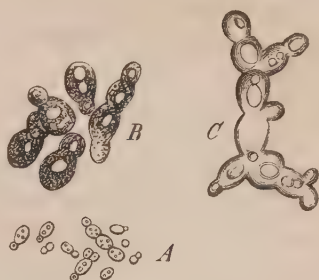


Fig. 20.

*Saccharomyces cerevisiae*, Hefe.

A. Schwach vergrößert.

B. Unterhefe, stark vergr.

C. Oberhefe, stark vergr.



Fig. 21.

Sporenbildung von *Sacch. cerevisiae*.

a, b. Zellen mit mehreren Vacuolen.

c. Zelle mit gleichmässig körnigem Inhalt.

d. Vier Plasmapartien.

e. aus diesen hervorgegangene junge Sporen.

f. dieselben doppelt conturirt.

g. Freie Sporen nach Auflösung der Membran.

h. Sporen im Beginne der Sprossung (Nach REES).

flüssigkeit war; niemals war aber eine Abschnürung der Spitze oder eine nachträgliche Gliederung an einem gebildeten Faden wahrnehmbar.

Ueber die Lebensbedingungen der Hefe und ihre Wirkung auf das Nährsubstrat s. im folgenden Abschnitt.

Eine Eintheilung der Hefeformen lässt sich nicht wohl auf Grund morphologischer Differenzen durchführen, da dieselben bei verschiedenen Arten zu geringfügig ausfallen, sondern man muss ihre physiologischen Wirkungen und ihre Lebensbedingungen als Classificationsprincip mit zu verwerthen suchen.

*Saccharomyces cerevisiae* (Cryptococcus cer.), Bier- oder Branntweinhefe. Zellen kugelig oder oval,  $8-9\ \mu^1$  lang; einzeln oder verzweigt in kurzen Ketten. Sporen zu 3 oder 4 in einer Mutterzelle,  $4-5\ \mu$  im Durchmesser. Bei der Bierbrauerei benutzt; bei der Untergärung, welche zwischen  $+4$  und  $+10^\circ$  langsam verläuft, setzt sich die Hefe als Unterhefe auf dem Boden des Gefäßes ab; die Zellen sind dann meist einzeln oder doch zu wenigen verbunden, Bei der Obergärung, welche zwischen  $+14$  und  $18^\circ$  stattfindet, reisst der Kohlensäurestrom die Hefe an die Oberfläche der Flüssigkeit und bildet so die Oberhefe, welche mehrgliedrige und ästige Sprossverbände bildet. — Dieselbe Hefe wird in der Bäckerei zum Auftreiben des Teigs benutzt (nam. Oberhefe); ferner dient sie zur Darstellung der Presshefe.

*Sacch. ellipsoideus*, Weinhefe. Zellen elliptisch, meist  $6\ \mu$  lang, einzeln oder in verzweigten kurzen Ketten; Sporen meist zu  $2-4$  in einer Mutterzelle;  $3-3\frac{1}{2}\ \mu$  im Durchmesser. — Ist der hauptsächlichste Gährungspilz der spontanen Gärungen, namentlich der Weinmostgärung; daher überall verbreitet.

*Sacch. conglomeratus*. Zellen rund, zu Knäueln verbunden. Auf faulenden Trauben und im Anfang der Weingärung. — *S. exiguus*. Zellen kegel- oder kreiselförmig;  $5\ \mu$  lang, bis  $2,5\ \mu$  dick. In der Bierhefe bei der Nachgärung. — *S. pastorianus*. Zellen oval oder keulenförmig. Colonieen bestehen aus primären keulenförmigen  $18-22\ \mu$  langen Gliedern, welche secundäre seitliche, rundliche oder ovale Tochterzellen,  $5-6\ \mu$  lang, bilden. Sporen zu  $2-4$ . Bei der Nachgärung des Weins, des Obstweins und bei selbstgärenden Bieren. — *S. apiculatus*. Zellen citronenförmig, an beiden Enden mit kurzen Spitzchen,  $6-8\ \mu$  lang,  $2-3\ \mu$  breit; Sprossungen nur an den spitzen Enden. Selten zu Colonieen verbunden. Sporen

1) Die im Folgenden vielfach gebrauchte Bezeichnung  $\mu$  bedeutet Mikromillimeter = 0,001 Millimeter.



unbekannt. Neben anderer Hefe bei verschiedenen spontanen Gährungen. — *S. sphaericus*. Die basalen Zellen einer Colonie oblong oder cylindrisch, 10—15  $\mu$  lang, 5  $\mu$  dick, die übrigen kugelig, 5—6  $\mu$  Durchmesser; zu verzweigten Familien verbunden. Sporen unbekannt.

*Sacch. mycoderma* (*Mycoderma cerevisiae* et *vini*), Kahlpilz. Zellen oval, elliptisch oder cylindrisch, 6—7  $\mu$  lang, 2—3  $\mu$  dick, reichverzweigte Ketten bildend. Sporenbildende Zellen bis 20  $\mu$  lang; Sporen zu 1—4 in jeder Mutterzelle. Bildet die sog. Kahlhaut auf gegohrenen Flüssigkeiten und wächst auf der Oberfläche, ohne Gährung zu erregen; man findet ihn namentlich auf Wein; dann auf Bier, Fruchtsäften, Sauerkraut etc.

Früher nahm man an, dass der Kahlpilz die Essiggährung in gegohrenen Flüssigkeiten veranlasse; nach NÄGELI ist jedoch das Verhältniss des Pilzes zur Essigbildung ein anderes. Man findet den Kahlpilz besonders auf der Oberfläche stark saurer Flüssigkeiten, z. B. alkohol-ärmer Weine; dabei bewirkt er zunächst durchaus keine Essigbildung; diese rührt vielmehr her von specifischen Spaltpilzen, die aber Anfangs in der stark sauren Flüssigkeit nicht vegetiren können. Die Kahlpilze wirken nun zunächst wie eine Schimmeldecke: sie veranlassen die Verbrennung der Säure und vermindern den Säuregehalt der Flüssigkeit. Dadurch bereiten sie den Boden für die Ansiedlung und Vermehrung der essigbildenden Spaltpilze; das Auftreten der Kahlhaut ist daher nothwendige Vorbereitung und Einleitung der Essiggährung. — NÄGELI unterscheidet folgende Decken auf gegohrenen Flüssigkeiten: 1) Essigmutter, wird sehr dick, zäh, gallertartig, mit glatter Oberfläche; oxydirt den Alkohol zu Essigsäure, besteht aus Spaltpilzen, *Mycoderma aceti*. 2) Essighäutchen, dünn, schleimig, glatt oder feinrunzelig, oxydirt den Alkohol zu Essigsäure, besteht aus Spaltpilzen, *Mycoderma cerevisiae*. 3) Kahlhaut, Gekrösehaut; ziemlich stark und fest, gekröseähnlich gefaltet; besteht aus Sprosspilzen, *Saccharomyces mesentericus*, welche die Fruchtsäuren verzehren; später siedelt sich darin ausserdem der Essigpilz (Spaltpilz) an, welcher den Alkohol zu Essigsäure oxydirt. *Mycoderma vini*. 4) Falsche Kahlhaut, Glatthaut; ziemlich stark, aber faltenlos, von körnig lockerem Zusammenhang, besteht aus Sprosspilzen, verzehrt die Fruchtsäuren nicht in bemerkbarer Weise und erlaubt dem Essigpilz nicht sich anzusiedeln. 5) Essigätherhäutchen; dünn, ungefaltet. Besteht aus Sprosspilzen (*Saccharomyces sphaericus*) und aus Spaltpilzen (Essigpilz), deren gleichzeitige Thätigkeit einen Theil des Zuckers in Essigäther überführt. — Essigmutter und Essighäutchen stellen sich auf geistigen Flüssigkeiten ein, die wenig Fruchtsäuren enthalten, dagegen ziemlich viel Essigsäure enthalten können, so namentlich auf Bier, auf Essig, welchem Wein oder Bier zugesetzt wird, selten auf schwachsaureren Weinen. Die Kahlhäute dagegen erscheinen regelmässig auf Flüssigkeiten, die eine gewisse Menge von Fruchtsäuren besitzen; die Gekrösehaut auf gegohrenem Weinmost und anderen Fruchtsäften, die Glatthaut zuweilen auf eben solchen Flüssigkeiten, welche durch Zucker und andere Zusätze verändert wurden.

Wird der Kahmpilz künstlich gezwungen, untergetaucht in Flüssigkeiten zu vegetiren, so wird eine geringe Menge Alkohol gebildet, aber der Pilz geht dann bald zu Grunde.

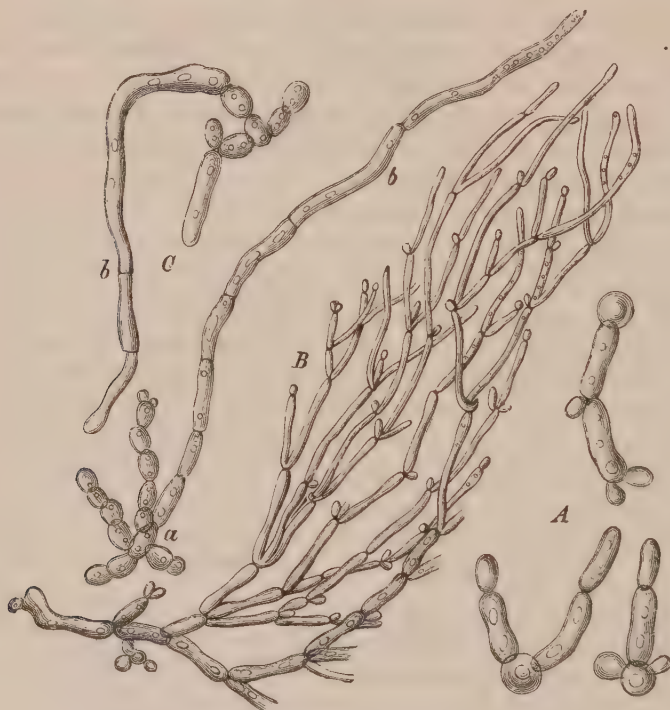


Fig. 22.  
Der Soorpilz, *Sacch. mycoderma*.

A. Keimlinge, stark vergr.

B. In dünnen Nährlösungen gezüchtetes ästiges Mycel mit wenig Seitenknospen.

C. Bei a Hefestadium, bei b Mycelstadium des Soorpilzes. (Nach GRAWITZ)

In wässrigen, zuckerarmen, sauren Flüssigkeiten bilden die Zellen oft längere Schläuche, die dann weitere Sprossungen treiben, so Querwände erhalten und schliesslich an diesen in die einzelnen Zellen zerfallen. Letztere sprossen dann ihrerseits in gleicher Weise (CIENKOWSKY). — Diese Bildungen sind namentlich an dem im Folgenden beschriebenen *Sacch. albicans* beobachtet, der übrigens mit *Sacch. mycoderma* völlig identisch zu sein und vielleicht keines besonderen Namens zu bedürfen scheint.

*Saccharomyces albicans*. Früher als *Oidium albicans* beschrieben (s. S. 58), von GRAWITZ für identisch mit *S. mycoderma* erklärt. Zellen theils kugelig, theils oval bis cylindrisch,  $3,5-5\ \mu$

dick; die cylindrischen Zellen 10 — 20 mal so lang als dick. Die Sprosscolonieen bestehen meist aus Reihen cylindrischer Zellen, aus deren Enden Reihen ovaler oder kugeligter Zellen hervorsprossen. Sporen einzeln, in rundlichen Zellen gebildet. Kommt als „Soor“ auf der Mundschleimhaut, namentlich von Säuglingen vor und bildet dann grauweisse Häufchen, die ausserdem noch Epithelien, Schizomyceten, Hefezellen und Mycelien verschiedener Schimmelpilze enthalten. In zuckerhaltiger, zugleich weinsaures Ammoniak und Aschenbestandtheile enthaltender Nährlösung sind die Soorpilze leicht zu cultiviren; je nach dem Zuckerreichthum sprossen die Zellen entweder zu langen Fäden aus, oder, in starken Zuckerlösungen, gehen aus einer Mutterzelle nach den verschiedensten Richtungen 4—8 Tochterzellen ab, die meist rund gestaltet sind und zu semmelartigen Zellenreihen werden (GRAWITZ, Lit. 73).

*Saccharomyces glutinis* (Cryptococcus gl.). Zellen kugelig oval bis kurz cylindrisch, 5—11  $\mu$  lang, 4  $\mu$  breit; isolirt oder zu 2 verbunden. Zellmembran und Inhalt in frischem Zustande farblos, nach dem Eintrocknen wieder befeuchtet mit einem schwach röthlichen Kern in der Mitte. Sporenbildung unbekannt. — Bildet rosafarbene schleimige Flecken auf Stärkekleister, Kartoffelscheiben, die mit *Microc. prodigiosus* verwechselt werden können. Der Farbstoff wird durch Säuren und Alkalien nicht verändert.<sup>1)</sup>

Von seltenem Vorkommen oder zweifelhafter Selbständigkeit sind noch folgende Arten: *S. inaequalis*; *S. nebulosus*; *S. guttulatus*. Ferner *Cryptococcus alvearius*, der bei der Faulbrut der Bienen in der faulbrütigen Masse gefunden und als Ursache der Erkrankung angesprochen wurde. Neuerdings werden jedoch Spaltpilze als die muthmasslichen Erreger dieser Infection bezeichnet (BOLLINGER).

---

### *C. Spaltpilze, Schizomycetes.*

Die Spaltpilze sind kleinste einzellige, kugelige oder fadenförmige Pflanzen, welche sich durch Theilung vermehren, entweder frei oder zu Colonieen vereinigt leben, und zum Theil lebhafte Bewegung zeigen. Durch ihre rasche Vermehrung und ihren energischen Stoffwechsel pflegen sie eine beträchtliche Alteration ihres Nährbodens zu bewirken; einzelne erzeugen dabei auffallende Farbstoffe, andere rufen bestimmte Gährwirkungen hervor, wieder andere vermögen sich im lebenden thierischen oder menschlichen Körper zu vermehren und denselben krank zu machen.

1) Cohn's Beiträge, Bd. I, Heft 2, S. 187.

Die Form der Zellen ist entweder kugelig oder oval, und dann bezeichnet man sie als Mikrokokken; oder sie sind zu einem kurzen Stäbchen gedehnt, so dass der Längsdurchmesser den Querdurchmesser deutlich übertrifft, dann unterscheidet man sie als Bakterien; oder es findet ein starkes Ueberwiegen des Längsdurchmessers statt, so dass sie als längere Stäbchen, Bacillen, oder bei noch stärkerer Verlängerung als Fäden erscheinen. Im letzteren Falle zeigen sich solche fadenförmige Zellen oft nicht gerade, sondern wellenförmig gebogen oder schraubenartig gewunden; man nennt diese Formen dann *Spirillum*, *Vibrio* oder *Spirochaete*.

Alle diese Zellformen bestehen aus Zellmembran und Zellinhalt. Letzterer erscheint wie gewöhnliches Protoplasma, ist ungefärbt (mit Ausnahme einiger roth gefärbter Mikrokokkenformen, s. unter *Cohnia* und im Anhang unter *Monas*), und enthält oft kleine öartige Körnchen, zuweilen auch dunkle, stark lichtbrechende Körperchen, die aus Schwefel bestehen (*Beggiatoen* und rothe Fäulnisorganismen). Beim Absterben und Degeneriren der Zellen tritt eine ausgeprägtere Trübung und körniger Zerfall des Protoplasmas ein. — Die äussere Schicht der Zellmembran erscheint quellbar und oft in eine Art Gallerthülle verwandelt; letztere ist zuweilen unter Anwendung von Färbemitteln sichtbar zu machen, kann aber meist nur aus dem Verhalten nebeneinanderliegender Zellen erschlossen werden. (PRAZMOWSKI, Lit. 62). — An manchen Zellformen sieht man mit stärksten Vergrösserungen in der Verlängerung der Längsachse fadenförmige Geisseln; dieselben wurden bis jetzt gefunden bei *Spirillum volutans*, *Spirillum Undula*, *Vibrio Rugula*, bei verschiedenen Bacillen, bei *Bacterium termo*, bei den rothen Fäulnismonaden. Die Geisseln sind gewöhnlich erst nach besonderen Vorbereitungen — Eintrocknen, Färben mit conc. wässriger Lösung von Extr. campech. — wahrzunehmen; zuweilen verräth sich ihre Gegenwart nur durch die eigenthümlich wirbelnde Bewegung der Flüssigkeit an den Enden der Zellen. Man darf aber vermuthen, dass Geisseln überall vorhanden sind, wo wir spontane, lebhafte Bewegungen an Spaltpilzen wahrnehmen, und dass dieselben nur wegen ihrer ausserordentlichen Feinheit sich oft der Beobachtung entziehen.

Einige Formen von Spaltpilzen sind stets in Ruhe; so zeigen die kugligen Zellen, die Mikrokokken, immer nur zitternde Bewegung mit ganz geringer Ortsveränderung, die auf unvermeidliche Erschütterungen und Strömungen zurückzuführen ist; niemals sieht man sie grössere Entfernungen durchmessen. Andere Formen, Bakterien, Bacillen und Spirochaeten kommen bald in Ruhe, bald in lebhafter Be-



wegung vor. Diese Bewegung scheint dann theils in einer Rotation um die Längsachse, theils in Beugungen und Streckungen zu bestehen; als eigentliche Ursache des Anstosses und der Unterhaltung der Fortbewegung scheint man aber Schwingungen der nachgewiesenen oder hypothetischen Geisselfäden ansehen zu müssen. Die Bewegung erfolgt in der Richtung der Längsachse nach vorn und nach hinten; bald ist sie langsam, wackelnd und rollend, bald lebhaft und schiessend, so dass das Gesichtsfeld im flüchtigsten Moment durch-eilt ist. Die verschiedensten Aenderungen der äusseren Verhältnisse, so Temperaturwechsel, Abschluss von Sauerstoff etc., pflegen die Bewegung zu verlangsamen und zu sistiren.

Im Ruhezustand bleiben die Spaltpilze entweder vereinzelt oder sie lagern sich zu Colonieen zusammen. Die durch Theilung entstandenen Tochterzellen trennen sich dann häufig nicht, sondern bleiben durch eine Gallerthülle verbunden; schliesslich entstehen grosse Conglomerate von Zellen, die alle durch gallertartige Intercellularsubstanz vereinigt sind. Man bezeichnet diese Form als *Zoogloea*; dieselbe ist am häufigsten bei Mikrokokken und Bakterien, aber auch bei kurzen Bacillen und Spirochaeten beobachtet. Die äussere Form der Zoogloeamasse ist eine sehr verschiedene; bald ist sie kugelig, bald knollenförmig, bald gelappt; zuweilen kommt eine sehr eigenthümliche baumartige Verzweigung vor; in einzelnen Fällen bilden sich dicke knorpelige Kapseln aus. Im Ganzen ist die Zoogloebildung durchaus der Bildung von Gallertkapseln bei einigen Algenfamilien (nam. *Phycochromaceen*) ähnlich.

In stärkerer Anhäufung, mag diese nun in einfacher Uebereinanderlagerung und Schwarmbildung oder in Zoogloebildung bestehen, machen sich die Spaltpilze auch dem unbewaffneten Auge häufig bemerkbar. In Flüssigkeiten bilden sie entweder diffuse oder wol-kige Trübungen; oder sie bedecken als dünnere oder dickere Häutchen die Oberfläche; oder Zoogloeamassen zeigen sich als schwimmende Flocken; oder endlich es liegt auf dem Boden ein pulveriger Niederschlag von Spaltpilzen, die in dieser Form sich ablagern, wenn die Nährstoffe der Flüssigkeit erschöpft sind und letztere nicht mehr im Stande ist, eine weitere Vermehrung der Spaltpilze zu ermöglichen. Auf festem Nährboden, der aber stets stark wasserhaltig sein muss, erscheinen sie als trockene Häufchen oder als schleimige Tropfen von verschiedener Färbung und Durchsichtigkeit, oder sie bewirken eine Verflüssigung des Substrats und eine grubenförmige Vertiefung.

Die Vermehrung der Spaltpilze erfolgt hauptsächlich, aber nicht ausschliesslich, durch einfache Theilung; nur bei *Sarcine* beob-

achtet man gleichzeitige Theilung nach mehreren Richtungen, so dass gewöhnlich eine Viertheilung der Zelle resultirt. Bei den kugelförmigen Mikrokokken scheint die Theilung nach beliebigen Richtungen zu erfolgen, bei den stäbchenförmigen Zellen dagegen immer nur im Querdurchmesser. Vor der Spaltung wachsen die Zellen in die Länge; dann entsteht gewöhnlich eine deutliche Einschnürung in der Mitte der Längswandungen, und schliesslich trennen sich an der Einschnürungsstelle die 2 Hälften. Beide nun selbständige Individuen können dann entweder getrennt weitere Spaltung erfahren, oder sie bilden, vielleicht durch zarte Gallerthülle verbunden, Ketten und Scheinfäden, indem die Quertheilung immer weiter in derselben Richtung vor sich geht; oder endlich sie betheiligen sich unter starker Production von Gallertsubstanz an der Bildung von Zoogloeamassen, innerhalb deren die Theilung der einzelnen Zellen noch weitergehen kann, so eine dichtere Anhäufung in der Zoogloea bewirkend. — Die Quertheilung ist meist sehr rasch beendet; bei 35° konnte man an Bacillen bereits nach 20 Minuten eine vollendete Theilung beobachten; äussere und individuelle Einflüsse vermögen diese Zeit zu variiren, immerhin ist ersichtlich, dass die Vermehrung der Spaltpilze innerhalb eines oder einiger Tage ins Ungeheuere fortschreiten muss. Geht man von einem einzigen Spaltpilz aus und nimmt an, dass jedes Individuum 1 Stunde gebraucht, um auszuwachsen und sich zu theilen, so sind nach Ablauf eines Tages aus dem einen Spaltpilze etwa 16 Millionen geworden, während am folgenden Tage die Zahl derselben Billionen beträgt.

Ausser der Vermehrung durch Theilung kommt bei vielen Spaltpilzen unter besonderen Umständen — namentlich dann, wenn die Nährstoffe der Erschöpfung entgegen gehen — eine wirkliche Fructification, eine Sporenbildung im Innern der Zelle vor. Dieselbe ist bis jetzt nur bei Bacillen (vereinzelt auch bei *Vibrio* und *Bacterium*) sicher beobachtet; bei diesen ist aber ihr Verlauf nicht immer der gleiche. In der Mehrzahl der Fälle wachsen die Bacillen vor der Sporenbildung zu langen Fäden aus; unter günstigen Verhältnissen erreichen sie schon innerhalb 3—4 Stunden die 20fache Länge der ursprünglichen Bacillen. Die Fäden sind vielfach gewunden, zu Büscheln vereinigt, oder zu einem dichten Netzwerk verflochten und haben einen homogenen blassen Inhalt. Nach einigen weiteren Stunden beginnen die Gliederungen dieser Scheinfäden deutlicher hervorzutreten; gleichzeitig trübt sich der Inhalt und in regelmässigen Abständen treten in den Fäden kleine, stärker lichtbrechende Körnchen auf. Nach im Ganzen etwa 20 Stunden haben sich aus diesen meist eirunde,

dunkelcontourirte und stark lichtbrechende Sporen gebildet, die in perlschnurartiger Anordnung in den Fäden liegen; letztere lösen sich allmählich auf, und die Sporen bestehen von da ab frei und sinken in den Flüssigkeiten zu Boden. — Ein anderer Modus der Sporenbildung besteht darin, dass die Bacillen nicht zu längern Scheinfäden auswachsen, sondern sich zunächst verdicken; dabei nehmen sie Spindel-, Ellipsoid- oder Kaulquappenform an, gleichzeitig wird das ganze Plasma verdichtet und die Membran verdickt. Dann trübt sich der Inhalt, es sondert sich ein grösserer, stark lichtbrechender Tropfen aus, der sich zur Spore ausbildet. (Sporenbildung bei *Clostridium butyricum* nach PRAZMOWSKI.) Die Sporen erscheinen isolirt als kugelige, meist aber länglich eiförmige Zellen, von  $1-2,5 \mu$  Längendurchmesser und  $0,5-1 \mu$  Dickendurchmesser. Besonders auffällig ist ihr starkes Lichtbrechungsvermögen; es macht den Eindruck, als ob ihr Inhalt aus einem glänzenden Oeltropfen bestände. Gleichwohl wird der Lichtglanz durch Kochen mit Aether nicht geändert, so dass der Inhalt nicht sowohl als Fett, sondern vielmehr als verdichtetes Protoplasma angesehen werden muss. Deutlich tritt eine dicke Membran hervor; man kann an derselben zwei Schichten, ein Exosporium und ein Endosporium unterscheiden, und ausserhalb derselben tritt noch ein eigenthümlicher Lichthof auf, der bald als kugelige glashelle Masse aufgefasst wird, in welche die Zelle eingebettet ist, bald dagegen als lediglich optische Erscheinung, bedingt durch den starken Lichtglanz der Spore.

Die Sporen können in guter Nährlösung und bei angemessener Temperatur wieder in Bacillen auskeimen; doch erfolgt dieser Act häufig erst nach einem längeren Ruhestadium und selten in derselben Nährlösung, in welcher die Sporen gebildet waren. Die Keimung selbst beobachtete KOCH in der Weise, dass die glashelle kugelige Masse, in welche die Sporen eingebettet sind, eiförmig wird und sich fadenförmig verlängert, während die Spore verblasst und schliesslich verschwindet. Nach PRAZMOWSKI und BREFELD schwelen die Sporen zunächst an, wobei sie ablassen, die dunkle Contour und den hellen Hof verlieren; dann treten entweder an beiden Polen halbmondförmige dunkle Schatten auf, und unter zitternder, tanzennder Bewegung der Spore baucht sich an der einen Längsseite eine Papille aus, die zum Stäbchen auswächst; oder in anderen Fällen dringt der Keimschlauch in der Richtung der Längsachse der Spore hervor, nachdem die Sporenhaut in ihrem ganzen Umfange sich gleichmässig verdickt hatte. Das Endosporium wird dabei zur Membran des Keimlings, während das abgestossene Exosporium

noch längere Zeit neben den gebildeten Stäbchen liegen zu bleiben pflegt.

Die Sporen haben ein ganz besonderes hygienisches Interesse dadurch, dass sie ausserordentlich viel resistenzfähiger sind als die gewöhnlichen Spaltpilze; sie stellen eine Dauerform dar, welche sich unter den heterogensten Verhältnissen lebensfähig erhält und selbst durch Siedhitze nicht immer getödtet wird (s. im folg. Abschnitt). Bisher wurde Sporenbildung fast nur bei Bacillen beobachtet; ob auch andere Spaltpilzformen, namentlich Mikrokokken, ähnliche Dauerformen zu liefern vermögen, ist noch unsicher; doch spricht der Umstand, dass man in sorgfältig verschlossenen, stark erhitzten und hernach dennoch durch Spaltpilze bevölkerten Nährlösungen bis jetzt stets nur Bacillen und ähnliche Formen, aber nie Mikrokokken gefunden hat, dafür, dass nur die Bacillen Dauerformen von solcher Resistenz zu liefern vermögen, und dass, wenn Sporenbildung bei Mikrokokken vorkommt, diese doch wenigstens nicht dieselbe hygienische Bedeutung hat wie bei den Bacillen.

Ausser der Sporenbildung soll nach NEELSEN auch zuweilen eine Bildung von gonidienartigen Körpern in Bacillen vorkommen; doch ist die betr. Beobachtung an nicht reinem Material gemacht und daher einstweilen anzuzweifeln.

Betreffs der chemischen Zusammensetzung der Spaltpilze ergaben die bis jetzt angestellten Analysen zunächst einen Wassergehalt von 83—85%; die trockne Substanz enthielt 6—8% fettartige, durch Aether extrahirbare Verbindungen, 5% Asche; die Hauptmenge machte ein eigenthümlicher Eiweisskörper aus, der von allen bisher bekannten Eiweisssubstanzen durch Reactionen und durch seine elementare Zusammensetzung verschieden ist, und der „Mykoprotein“ genannt ist (NENCKI).<sup>1)</sup> — Auch die Zellmembran besteht nicht etwa ausschliesslich aus einem celluloseartigen Körper, sondern das Mykoprotein bildet einen constanten Bestandtheil derselben; und ebenso ist auch die Gallerthülle, welche die Spaltpilze häufig umgiebt, sowie die Zoogloeamasse keine Celluloseart, sondern besteht fast ausschliesslich aus Mykoprotein. (Vgl. im folg. Abschn.) — Ausser diesen allgemeinen Bestandtheilen finden sich zuweilen noch besondere chemische Körper, die für eine bestimmte Bakterienart charakteristisch sind; so ist in einigen Formen Schwefel gefunden

1) M. NENCKI, Beiträge zur Biologie der Spaltpilze, Leipzig 1880.



(Beggiatoa); ferner färben sich manche Spaltpilze mit Jod oder mit Jod und organischen Säuren violett oder blau (*Clostr. butyricum*, *Leptothrix buccalis* etc.).

Die Entwicklung und Vermehrung der Spaltpilze erfolgt auf den verschiedensten Nährsubstraten und ihre nothwendigen Lebensbedingungen liegen innerhalb sehr weiter Grenzen. Ihr Mangel an Chlorophyll gestattet ihnen zwar nicht eine so ausgedehnte Synthese, wie diese bei den übrigen Pflanzen stattfindet; wohl aber ist es den Spaltpilzen möglich, aus relativ einfachen Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen, und namentlich auch aus Ammoniak die hochconstituirten Substanzen ihres Körpers aufzubauen. Complicirtere Verbindungen können ihnen dabei eben so gut als Nährmaterial dienen, und so ist eine sehr weitgehende Variirung geeigneter Nährsubstrate möglich. Unerlässlich zu ihrer Ernährung sind die Aschenbestandtheile, welche sie enthalten; ferner muss ihnen die Nahrung in einer gewissen Verdünnung, mit reichlichem Wassergehalt zu Gebote stehen. Zu einer lebhafteren Entwicklung von Spaltpilzen gehört ausserdem eine geeignete Temperatur, und für einige Spaltpilzarten auch die Gegenwart von Sauerstoff. Dieser ist jedoch merkwürdigerweise nicht für alle Bakterien Lebensbedingung, sondern einige Formen werden sogar durch Anwesenheit von Sauerstoff in ihrem Wachsthum gehemmt und getödtet, und vermögen nur bei Sauerstoffmangel zu wachsen und sich zu vermehren. Danach theilt man die Spaltpilze in zwei grosse Classen: Aërobien und Anaërobien (PASTEUR), unter welchen letzteren eben jene eigenthümlichen, nur bei Sauerstoffabschluss gedeihenden Bakterien zusammengefasst werden.

Bei ihrer Ernährung und Vermehrung vermögen die Spaltpilze einige besonders auffallende Wirkungen auszuüben; so bilden sie häufig Farbstoffe, die das Aussehen des Nährsubstrats völlig verändern; oder sie rufen Gährungen hervor, bei denen organische Säuren, wie Milchsäure, Buttersäure, zuweilen auch Ammoniak und daneben oft Wasserstoff, Kohlensäure und andere Gase gebildet werden; oder endlich die Vermehrung findet in den Säften und Geweben des lebenden thierischen oder menschlichen Körpers statt, und dieser wird dadurch krankhaft afficirt. Man kann somit pigmentbildende, gährungerregende oder zymogene, und pathogene Spaltpilze unterscheiden.

Eine systematische Eintheilung nach Art der übrigen Pilze, bei welchen Verschiedenheiten der Fructificationsorgane und der Fortpflanzung die leitenden Merkmale abgeben, ist bei den Spaltpilzen nicht möglich, da wir die gleiche Vermehrungsweise

durch Theilung bei allen Formen, und ausserdem nur noch in bisher nicht zu begrenzender Verbreitung eine Sporenbildung in den Zellen kennen. Eine Unterscheidung und systematische Uebersicht der Spaltpilze ist vielmehr lediglich dadurch möglich, dass wir die äussere Form derselben, ferner Eigenthümlichkeiten ihres Verhaltens, wie Zoogloeabildung, Beweglichkeit, Sauerstoffbedarf, Aufnahme gewisser Farbstoffe und vor allem ihre Einwirkung auf das Nährsubstrat berücksichtigen und zur Unterscheidung mit heranziehen. Auf diese Weise entsteht freilich nur ein künstliches, provisorisches System von vermuthlich kurzer Dauer, und es ist vorauszusehen, dass manche einstweilen unterschiedene Arten wieder untergehen und mit anderen zu vereinigen sein werden. Aber andererseits ist gar kein Zweifel, dass eine möglichst genaue Unterscheidung der jetzt in ihrem Verhalten und in ihren Wirkungen uns als verschieden imponirenden Spaltpilze das einzige Mittel bietet, um in gemeinsamer Arbeit die Erkenntniss dieser wichtigen Organismen zu fördern, und dass ohne eine Verständigung über die bis jetzt beobachteten Differenzen keine Schritte gethan werden können, um zu einem natürlicheren und bleibenden System der Spaltpilze zu gelangen.

Bei der im Folgenden gegebenen Uebersicht ist vorzugsweise die COHN'sche Eintheilung zu Grunde gelegt; die einzelnen Gattungen sind darin möglichst auf morphologische Differenzen gegründet; innerhalb der einzelnen Gattung geben oft biologische Differenzen die Merkmale zu weiterer Classificirung. In neuester Zeit ist allerdings von einigen Forschern ein Uebergang mehrerer bisher unterschiedener Formen in einander behauptet; doch erscheinen diese Einwürfe kaum geeignet, das COHN'sche System völlig umzustossen. Die Bedeutung der einschlägigen Beobachtungen lässt sich nur im Zusammenhang mit einigen anderen Fragen, und namentlich mit der Frage nach der Constanz der Eigenschaften der Spaltpilze und ihrer Anpassung an äussere Verhältnisse, vollkommen würdigen, und kann daher erst im folgenden Abschnitt eingehender besprochen werden.

Die Spaltpilze wurden zuerst von EHRENBURG 1830 beobachtet und den Infusorien zugerechnet; er bezeichnete sie als Vibrionen und unterschied als Gattungen *Bacterium*, *Vibrio*, *Spirillum*, *Spirochaete*. DUJARDIN rechnete viele derselben den Pflanzen zu; COHN<sup>1)</sup> begründete 1853 zuerst ihre durchaus pflanzliche Natur; NÄGELI fasste sie unter der Bezeichnung *Schizomycetes*, Spaltpilze, zusammen. — Die Spaltpilze zeigen mit

---

1) EHRENBURG, Die Infusionsthierchen als vollkommene Organismen. Leipz. 1838. — DUJARDIN, Hist. natur. des Zoophytes, Paris 1841. — COHN, Nov. Act. Acad. Leop. Carol. 1853.

einigem anderen dem Pflanzen- oder Thierreich zugerechneten Organismen so grosse Aehnlichkeit, dass eine scharfe Abgrenzung der Gruppe auch heute noch kaum möglich ist. Eine solche Aehnlichkeit besteht z. B. zwischen den geisselführenden Bacillen und Spirochaeten einerseits und den mundlosen, keine feste Nahrung aufnehmenden, starren, geisselführenden Monaden andererseits; und es scheint nöthig zu sein, die Gattung *Monas* zu trennen und theilweise den Infusorien und damit dem Thierreich zuzurechnen, anderentheils aber mit den Bakterien zu vereinigen. Diejenigen Formen von *Monas*, welche vorzugsweise zu einer Verwechslung mit Bakterienformen führen können, sollen daher hier anhangsweise aufgeführt werden. — Ferner besteht eine stark ausgesprochene Aehnlichkeit der Spaltpilze mit gewissen niederen Algen. Sieht man nur auf die morphologischen Merkmale, so sind in der That kaum Unterschiede zwischen einigen Gattungen vorhanden; Mikrokokken und Bakterien, die im Ruhezustand Schleimfamilien bilden, schliessen sich aufs engste an die *Chroococcaceen* an, während *Bacillen* und *Spirochaeten* sich mehr den *Oscillarien* anreihen. Die Algen unterscheiden sich von den gleichgestalteten Spaltpilzen wesentlich nur durch den Chlorophyllgehalt und durch das Fehlen auffallender Zersetzungen des Nährsubstrats bei ihrer Vegetation. Doch sind diese Unterschiede kaum hinreichend, die ähnlichen Formen zu trennen; und wenn an dieser Stelle einstweilen noch eine getrennte Behandlung der Spaltpilze und der niederen Algen beibehalten wird, so geschieht dies nur mit Rücksicht auf den bisher allgemein geübten Gebrauch, mit dessen Beseitigung nicht wohl in einem vorzugsweise für Mediciner bestimmten Handbuche begonnen werden kann. Ein zusammenfassendes System, welches Spaltpilze und zugehörige Algen unter dem gemeinsamen Namen *Schizophytae* vereinigt und ebenfalls von COHN aufgestellt ist, findet sich am Schluss der Besprechung der niederen Algen (s. unten). Zahlreiche andere Benennungen sind für die Spaltpilze früher gewählt und zum Theil noch heute in Gebrauch. PASTEUR bezeichnet sie als *Champignons*, *Infusoires*, *Animalcules*, unterscheidet *Torulacées*, *Bactéries*, *Vibrions*, *Monades* etc. Andere Ausdrücke sind: *Mikrozyma* (BÉCHAMP), *Bacteridium* (DAVAINE), *Mikrosporon* (KLEBS), *Spalthefe* (NÄGELI); sehr gebräuchlich ist der Name „Bakterien“ für die ganze Gruppe der Spaltpilze. — BILLROTH unterscheidet zwei Formen, *Coccus* und *Bacteria*, die beide von einer gemeinsamen Pflanze *Coccobacteria* herkommen sollen; nach der Grösse lassen sich jene als Mikro-, Meso-, *Megacoccus* und Mikro-, Meso- und *Megabacteria* trennen; bilden sich schleimige Hüllen (*Glia*), so entsteht *Gliacoccus*, oder wenn die Hüllen in Form von häutigen Platten auftreten, *Petalococcus*, *Petalobacteria*. Die isolirten Kügelchen nennt BILLROTH *Monococcus*, Doppelkügelchen *Diplococcus*, Ketten von Kügelchen *Streptococcus*. — KLEBS unterscheidet *Mikrosporinen* und *Monadinen* (s. im folg. Abschnitt). — Eine einheitliche Nomenclatur erscheint dringend nöthig, um einer weiteren Verwirrung auf diesem Gebiete vorzubeugen.

Uebersicht der Gattungen.<sup>1)</sup>

	Zellen isolirt oder kettenförmig verbunden oder zu amorphen Schleimfamilien vereinigt			<i>Micrococcus</i>				
Zellen kugelig oder eiförmig	{	Zellen zu bestimmt begrenzten Schleimfamilien vereinigt	Colonieen solid, durchweg von Zellen erfüllt	Zellen in grosser und unbestimmter Zahl zu unregelmässigen Colonieen vereinigt				
				Zellen in geringer, aber bestimmter Zahl zu regelmässigen Familien verbunden				
			Colonieen mit einfacher peripherer Zellschicht	<i>Ascococcus</i>  <i>Sarcine</i>  <i>Clathrocystis</i> (Cohnia).				
Zellen cylindrisch	{	Zellen länger cylindrisch, zu Fäden verbunden	Zellen kurz cylindrisch, einzeln, oder zu wenigen locker zusammenhängend, oder zu amorphen Schleimfamilien vereinigt					
			{	Fäden unverzweigt	Fäden isolirt, oder verfilzt, oder in Bündeln	Fäden kürzer, deutlich gegliedert		
					{	Fäden lang, un- deutlich gegliedert	Fäden gerade	<i>Bacterium</i>  <i>Bacillus</i>
							Fäden wellig oder spiralg	Fäden { Fäden sehr dünn Fäden dicker
					{	Fäden durch falsche Astbildung verzweigt	Kurz, starr	<i>Spirillum</i> ( <i>Vibrio</i> )
							Lang, flexil	<i>Spirochaete</i>
					Fäden in rundliche Gallertmassen eingeschlossen	<i>Streptothrix</i> , <i>Cladothrix</i> <i>Myconostoc</i> .		

Von zweifelhafter Zugehörigkeit zu den Spaltpilzen:

*Crenothrix*, *Sphaerotilus*, *Spiromonas*, *Rhabdomonas*, *Monas Okenii*, *War-  
mingii*, *vinosa*.

I. Gattung, *Micrococcus*.

Kugelige oder ovale Zellen, die meisten unter 1  $\mu$  im Durchmesser. Theilen sich nur in einer Richtung; nach der Theilung hängen die Zellen oft paarweise aneinander und sind dann stark eingeschnürt; sie sind in diesem Stadium leicht zu verwechseln mit kurzen Stäbchen, und nur die spitzwinkelige Einschnürung und die kugelige Form der Einzelglieder kann hier die richtige Diagnose ermöglichen. Zuweilen bleibt es trotzdem zweifelhaft, ob ein einzelner Spaltpilz als getheilter *Micrococcus* (*Diplococcus*) oder als Stäbchen aufzufassen ist, und eine Entscheidung ist nur möglich, wenn andere gleiche Mikrokokken vereinzelt danebenliegen oder in anderer Gruppierung sich finden. (Vgl. Gattung *Bacterium*.) — Oft

1) Vgl. RABENHORST (16), S. 37.



bleiben auch mehrere Zellen mit einander verbunden und dann entstehen rosenkranzartige Ketten = Torulaform. Die Ketten legen sich auch wohl in unregelmässiger Weise an einander und bilden Colonieen. Häufiger aber wird bei solcher Coloniebildung zugleich eine grössere Menge schleimiger Intercellularsubstanz ausgeschieden, und eine Zoogloea gebildet, in der die kugeligen Zellen dicht gedrängt liegen und welche unter dem Mikroskop ein dichtpunktirtes oder feingekörntes, chagrinartiges Aussehen zeigt (Fig. 23).<sup>1)</sup> Die Intercellularsubstanz erscheint weniger reichlich entwickelt, als bei der Zoogloeaform von Bacterium, und ausserdem schwerer in Wasser löslich. — Die meisten Beobachter haben an Mikrokokken nur eine zitternde

Molekularbewegung wahrnehmen können; die

Fälle, in denen wirkliche Ortsveränderungen an Mikrokokken beobachtet sind, dürfen vermuthlich auf unbeachtete Flüssigkeitsströmungen etc. zuzückgeführt werden.

Die einzelnen Arten von Mikrokokken sind noch sehr wenig studirt. Man findet erhebliche Differenzen in Bezug auf Grösse, Form, Lagerung, Farbstoffaufnahme u. s. w.; manche haben mehr ovale, die meisten kugelförmige Form; manche gruppieren sich regelmässig zu vier Individuen, andere bilden lange Ketten; und eine bessere Classificirung nach morphologischen Merkmalen wird bei weiterer genauester Beachtung aller solcher Verhältnisse vermuthlich in nicht ferner Zeit möglich sein. Einstweilen sind aber die dafür wichtigsten Charaktere und namentlich die genaue Grösse nicht exact genug beobachtet, und eine scharfe Vergleichung der Befunde verschiedener Beobachter wird auch wohl nur auf Grundlage photographischer Abbildungen möglich sein, wie solche bisher allein von Koch veröffentlicht sind. — Die weitere Unterscheidung ist daher im Folgenden vielfach noch nach physiologischen Differenzen versucht, und zwar sind nach COHN vor allem zymogene, Farbstoff producirende und pathogene Mikrokokken unterschieden.

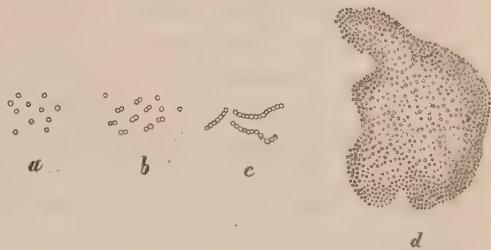


Fig. 23.  
Micrococcus. 650 : 1.  
a. Isolirt; b. In Theilung begriffen (Diplococcus);  
c. Torulaform; d. Zoogloea. (Nach COHN.)

1) Die feineren Form- und Structurverhältnisse der Spaltpilze lassen sich selbstverständlich nicht im Holzschnitt wiedergeben; zu einer ausreichenden Darstellung derselben sind vielmehr lediglich Photogramme geeignet. Die hier gegebenen Zeichnungen sind daher als schematische zu betrachten, durch welche nur die wesentlichsten Charaktere der Form und Lagerung der Spaltpilze zur Anschauung gebracht werden sollen.

a) *Zymogene Mikrokokken.*

*Micrococcus ureae* (Lit. 76—84). Kugelförmige Zellen von 1,25—2  $\mu$  Durchmesser, vereinzelt oder in Torulaform oder in unregelmässigen Gruppen; zuweilen in Zoogloea auf der Oberfläche von Flüssigkeiten. — Entwickelt sich leicht im Harn und bewirkt dann die ammoniakalische Gährung des Harns, indem er den



Fig. 24.  
*Micrococcus ureae*.  
(Nach COHN.)  
650 : 1.

Harnstoff in kohlen-saures Ammon umwandelt. Nach PASTEUR gehört der *Micrococcus* zu den Aëro-bien, und bevorzugt ausserdem die gut belichteten Wände der Culturegefässe. Die eintretende alkalische Reaction stört die Entwicklung in keiner Weise; die Gährung dauert fort, bis sich etwa 13 % kohlen-saures Ammoniak gebildet hat. Auch künstliche Lösung von Harnstoff wird rasch in derselben Weise zersetzt. — MUSCULUS hat nachgewiesen, dass das Ferment der ammoniakalischen Gährung sich von den Mikrokokken, welche es produciren, trennen lässt, wie das invertirende Ferment von der Hefe.

*Micrococcus* der schleimigen Weingährung, durch dessen Einfluss der schleimige, fadenziehende Wein (vin filant) entsteht; Kügelchen von 0,2  $\mu$  Durchmesser, hauptsächlich in Rosenkranzfäden. Diese und ähnliche Formen sind von PASTEUR als die Erreger verschiedener Krankheiten des Weines und Bieres bezeichnet, aber nicht genügend morphologisch und biologisch charakterisirt. Ueber den chemischen Vorgang bei der schleimigen Gährung s. unten.

*Micrococcus* der Phosphorescenz.<sup>1)</sup> Grosse runde Zellen, meist in Zoogloea. Wurden auf selbstleuchtendem Fleisch beobachtet, auf dessen Oberfläche sie sich in Form eines leuchtenden Schleims ausbreiteten. Ueber die näheren morphologischen Verhältnisse, sowie über die Art ihrer zersetzenden Thätigkeit fehlt es an Angaben.

Mikrokokken in faulenden Substraten. In fast allen faulenden Substanzen, namentlich bei niederer Temperatur und nicht zu stark vorgeschrittener Zersetzung, finden sich Mikrokokken verschiedener Grösse und Gruppierung. Eine Isolirung derselben und die Bestimmung ihrer speciellen Wirkung und ihres Antheils an dem Process der Fäulniss muss späteren Untersuchungen vorbehalten bleiben. Fig. 25 zeigt einige solcher Mikrokokkenformen aus vier Tage altem, bei circa 10° gestandenem Blut; Fig. 26 eigenthümliche,

1) PFLÜGER, in Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 10 u. 11. — LASSAR, ebenda. Bd. 21.

meist zu je viere zusammenengelagerte Mikrokokken, die sich in Wundsecreten beim Menschen angesiedelt hatten (beide nach KOCH).

Hierher gehört auch der früher unter dem Namen *Monas crepusculum* aufgeführte, nicht näher definirte *Micrococcus*. — Zahlreiche verschiedene Mikrokokken erhält man, wenn man Gelatine oder Kartoffelflächen der



Fig. 25.  
Mikrokokken verschiedener Grösse  
aus faulendem Blut. 700:1.



Fig. 26.  
In Tetraden ge-  
lagerte Mikro-  
kokken. 700:1.

Luft aussetzt und deren Keime sich ansiedeln und entwickeln lässt.

### b) Pigmentbildende Mikrokokken

kommen hauptsächlich in Zoogloeaform vor; bilden schleimige gefärbte Ueberzüge auf der Oberfläche der Nährsubstrate; das Pigment bildet sich nur in Berührung mit der Luft. Daneben erzeugen sie gewöhnlich alkalische Reaction. Das gebildete Pigment ist entweder in Wasser löslich und verbreitet sich dann im Nährmedium; oder in Wasser unlöslich und bleibt dann auf das Protoplasma und die Intercellularsubstanz der Zoogloea beschränkt. Die Pigmentmikrokokken wachsen vorzüglich auf frisch durchgeschnittenen gekochten Kartoffeln, einige auf Eiern; ihre Keime sind stets in der Luft verbreitet, so dass man sie auf ausgelegten Kartoffelscheiben auffangen und cultiviren kann; doch ist die Art der sich ansiedelnden Formen nach Zeit und Ort verschieden, so dass namentlich einzelne Pigmente nur selten erhalten werden. Die einmal gewachsenen Mikrokokken können auf die verschiedensten festen, halbflüssigen oder flüssigen Substrate übertragen werden — sie erzeugen, falls sie sich überhaupt vermehren und nicht degeneriren, stets denselben Farbstoff.

*Micrococcus prodigiosus* (*Monas prodigiosa*) (Fig. 23 a d). Kugelige, in geringem Grade ovale Zellen von  $\frac{1}{2}$ — $1\ \mu$  im Durchmesser; bildet blutrothe Ueberzüge auf gekochten Kartoffeln, den verschiedensten Nahrungsmitteln, auf Gelatine, auf Milch, wo dann auch die Fetttropfchen den rothen Farbstoff aufgelöst enthalten.

Die Mikrokokken selbst sind farblos; der Farbstoff ist in Wasser unlöslich, aber in Alkohol löslich; seine Lösung zeigt je einen charakteristischen Absorptionsstreifen im Grün und im Blau.<sup>1)</sup> — Der *Micr. prod.* bewirkte vermuthlich die früher mehrfach beobachteten Erscheinungen des blutenden Brotes und der blutenden Hostien; zuweilen zeigt er geradezu epidemisches Auftreten, so 1843 in Paris, wo er namentlich in dem aus den Militärbäckereien hervorgegangenen Brode wucherte. —

1) SCHRÖTER, Cohn's Beiträge. Bd. 1. Heft 2. S. 115. — COHN, ebenda. S. 153 und Bd. I. Heft 3. S. 182. — WERNICH, ebenda. Bd. 3. Heft 1.

In der Neuzeit wird er häufig cultivirt, um zur Lösung mykologischer Fragen zu dienen, wozu er durch die auffallende Farbe, von der jede Ansiedlung begleitet ist, sich besonders geeignet erweist.

*Micrococcus luteus*. Zellen etwas grösser als bei *M. prodigiosus*, elliptisch, stark lichtbrechend. Bilden gelbe Tröpfchen von 1—3 Mm. Durchmesser auf gekochten Kartoffelscheiben; auf flüssigem Nährsubstrat dicke, gelbe, faltige Häute. Das Pigment ist in Wasser unlöslich.

*Micrococcus aurantiacus*. Ovale Kügelchen von 1,5  $\mu$  Durchmesser, einzeln oder paarweise, oder zu vierten zusammenhängend; oder in Zoogloea. Orangegelbe Flecke, die zuletzt einen ununterbrochenen Ueberzug bilden; namentlich auf gekochtem Eierweiss; auf Nährlösung dicke goldgelbe Schicht. — Farbstoff in Wasser löslich.

*Micrococcus chlorinus*. In Form einer feinkörnigen Zoogloea; bildet gelb- oder saftgrüne Schichten auf Nährlösungen und gekochten Eiern. Farbstoff in Wasser löslich, durch Säuren entfärbt.

*Micrococcus cyaneus*. Elliptische Kügelchen, Nährlösungen und Kartoffelscheiben intensiv blau färbend. Der Farbstoff ist dem Lakmusfarbstoff sehr ähnlich; er ist löslich in Wasser, wird durch Säuren roth, durch Neutralisiren der Säure mit Ammoniak wieder blau gefärbt.

*Micrococcus violaceus*. Elliptische Zellen, grösser als *M. prodigiosus*; oft zu Ketten verbunden; bildet veilchenblaue Schleimklumpchen und Flecken auf gekochten Kartoffeln.

*Micrococcus fulvus*.<sup>1)</sup> Kugelige Zellen von 1,5  $\mu$  Durchmesser, häufig paarweise zusammenhängend, durch zähe Intercellularsubstanz verbunden. Bildet rostrothe kegelförmige Tröpfchen von fester Consistenz und circa  $\frac{1}{2}$  Mm. im Durchmesser auf Pferdemist.

### c) Pathogene Mikrokokken.

Bei sehr zahlreichen Krankheitsprocessen werden Mikrokokken in den erkrankten Geweben, namentlich in den Blut- und Lymphgefässen gefunden; oft ist es aber sehr schwierig zu entscheiden, ob sie die Ursache des Processes sind oder ob sie in den ergriffenen und zum Theil abgestorbenen Geweben sich später angesiedelt haben, ob sie nur Leichenbefund sind, oder auch im Lebenden ihre zersetzenden Wirkungen geltend gemacht haben. — Sichere Beweise für die pathogene Wirkung gewisser Mikrokokken hat man nur dann erhalten können, wenn die Verbreitung derselben den Krankheitssymptomen durchaus entsprach, wenn die Krankheiten experimentell auf Thiere übertragbar waren und wenn wo möglich ausserdem die Mikrokokken auf künstlichem Substrat sich cultiviren liessen. Alle diesen Anforderungen nicht entsprechenden im Folgenden aufgezählten Formen können daher nur mit Reserve als specifisch pathogene Arten bezeichnet werden.

*Micrococcus bombycis*. (*Microzyma bombycis*, BÉCHAMP.)<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> COHN, Beiträge. Bd. 1, Heft 3, S. 181.

<sup>2)</sup> PASTEUR, C. R. Bd. 64, S. 1289 ff.



Ovale Zellen von höchstens  $1,5 \mu$  Durchmesser, einzeln, paarweise oder zu 4–8 an einander gereiht, oder zu längeren geraden oder gekrümmten Ketten verbunden (Fig. 27). — Bewirkt die Schlafsucht (*flacherie*, *flaccidezza*, *maladie de morts-blancs*) der Seidenraupen, die vor etwa 15 Jahren aufgetreten ist und seitdem in einzelnen Jahren mit grosser Heftigkeit um sich greift. Am lebenden Thier zeigt sich verminderte Fresslust, es wird schlaff; bald nach dem Tode werden die Cadaver weich bis zum Zerfliessen, sind nach 24–48 Stunden tiefdunkel gefärbt und mit Gasen und schwarzbrauner Jauche gefüllt. Unter ungünstigen hygienischen Verhältnissen — schlechter Ventilation und Nahrung etc. — scheint sich die Krankheit „spontan“ zu entwickeln; ferner kann sie jederzeit durch Uebertragung erhalten werden; so gelang es z. B. durch Verfütterung von Staub aus verseuchten Localitäten die Krankheit bei gesunden Thieren zu erzeugen. — Im Nahrungsschlauch der erkrankten und gestorbenen Thiere, namentlich im Magensaft, findet man massenhaft und constant die erwähnten Mikrokokken, denen sich kurz vor dem Tode noch verschiedene Bacterien zugesellen. Es fehlt jedoch noch der Nachweis, dass die Mikrokokken durch ihre Verbreitung im Körper alle Krankheitssymptome zu erklären vermögen, und dass kleinste Mengen des isolirten Pilzes die Krankheit übertragen; die Möglichkeit erscheint nicht ausgeschlossen, dass es sich um andere, vielleicht septicämische Spaltpilze als eigentliche Krankheitserreger handelt.<sup>1)</sup>



Fig. 27.  
*Micrococcus bombycis*.  
(Nach COHN.) 600 : 1.

*Nosema bombycis* (*Micrococcus ovatus*, *Panhistophyton ovatum*, *Corpuscules du ver à soie*), die Ursache der *Pébrine* (Gattine, Fleckenkrankheit, *Maladie des corpuscules*) der Seidenraupen, möge hier angereicht werden, obgleich die Grösse und Form der Organismen, sowie die unsichere Kenntniss ihrer Entwicklungsgeschichte über den ihnen zukommenden Platz im Zweifel lassen können. — Im Blut und in allen Organen der erkrankten Raupen finden sich glänzende ovale Zellen,  $3-4 \mu$  lang,  $2 \mu$  breit; meist isolirt, zuweilen auch paarweise oder zu Haufen vereinigt (Fig. 28). Sie wurden zuerst von

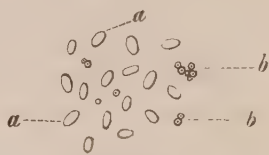


Fig. 28.  
*Nosema bombycis*. 500 : 1.  
a. *Nosema*-Zellen.  
b. Urate, die gewöhnlich mit im Präparat enthalten sind. (Nach DUCLAUX.)

1) BOLLINGER (153). — COHN, Beiträge. Bd. 1, Heft 2, S. 165. — Heft 3, S. 201.

CORNALIA entdeckt, später von LEBERT, NÄGELI und PASTEUR<sup>1)</sup> beschrieben.

Die Krankheit zeigt sich dadurch, dass auf der Haut der Raupen schwärzliche Flecken auftreten; dabei ist die Fresslust vermindert, die Raupen werden schlanker und wasserreicher; das Seidenorgan schwillt rosenkranzartig an, wird undurchsichtig und die kranken Raupen liefern keine oder sehr schwache Cocons; schliesslich gehen sie nach kurzer Zeit zu Grunde. Sämmtliche Organe zeigen sich dann durchsetzt von den Mikrokokken; auch in den Eiern der Schmetterlinge werden sie gefunden, und durch solche inficirte Eier wird die hereditäre Uebertragung und die Fortdauer der Krankheit vermittelt, welche sonst, der geringen Widerstandsfähigkeit der Mikrokokken wegen, in Frage gestellt sein würde. PASTEUR hat experimentell festgestellt, dass die Uebertragung der Krankheit durch den Genuss von Mikrokokken in der Nahrung, und durch gelegentliches Eindringen derselben durch verletzte Hautstellen erfolgen kann, und dass Luftströmungen, die Hantrungen der Züchter etc. zu der Weiterverbreitung der inficirenden Keime Anlass geben. — Als prophylaktisches Mittel gebraucht man jetzt allgemein die von PASTEUR eingeführte Zellengrainage; die eierlegenden Schmetterlinge werden paarweise separirt und nach der Begattung und Eierablage auf das Vorhandensein der charakteristischen Mikrokokken untersucht. Finden sich letztere, so werden die Eier vernichtet und nicht zur Zucht verwendet.

Mikrokokken bei Wundinfectionskrankheiten. Bei am Menschen beobachteten Wundinfectionskrankheiten wurden vielfach Spaltpilze in den Wundsekreten, in der Umgebung der Wunde und häufig auch im Blut oder in entfernteren Organen gefunden. Für die meisten dieser Spaltpilzformen steht es indessen nicht vollkommen fest, dass sie als pathogene Organismen angesehen werden dürfen; die Befunde sind dazu zu inconstant, denn selbst von solchen Forschern, die sich mit den Untersuchungsmethoden vollkommen vertraut gemacht haben, sind oft exquisite Krankheitsfälle ohne die charakteristischen Organismen beobachtet worden; ferner ist die Menge der im Blut und in den Organen gefundenen Spaltpilze meist zu gering gewesen, um alle Krankheitserscheinungen zu erklären; und ausserdem sind die für verschiedene Krankheitsformen aufgestellten Pilzformen zu wenig morphologisch charakterisirt. — Vollkommen sicher erkannt sind dagegen einige Mikrokokken als die Erreger von Wundinfectionskrankheiten bei Thieren. Die experimentelle Hervorrufung dieser Krankheiten gelingt besonders leicht bei Mäusen und Kaninchen; zur ersten Infection kann man beliebige zufällige Gemenge von Spaltpilzen wählen, unter denen dann mit einer

1) CORNALIA, Rapp. della Commiss. per le studio della malattia dei briochi etc. Milano 1857. — Monografia del Bombice del Gelso, Milano 1856. — LEBERT (183). — NÄGELI, Botan. Zeitg. 1857, S. 760. — BOLLINGER, l. c.

gewissen Wahrscheinlichkeit sich die eine oder andere pathogene Form befinden wird. Solche Gemenge liefert z. B. faulendes Blut u. dergl., namentlich im Anfangsstadium der Fäulniss, wo noch die verschiedensten zufällig hineingerathenen Keime zu einer gewissen Entwicklung gelangt sind. Nur muss man mit der auf das Thier übertragenen Dosis vorsichtig sein, damit nicht grössere Mengen giftiger Substanzen, welche in Fäulnissgemischen enthalten zu sein pflegen, eine Intoxication und den Tod des Versuchsthiers vor der reichlichen Vermehrung der infectiösen Spaltpilze bewirken. Die auf diese Weise erhaltenen Krankheiten lassen sich auf das Bestimmteste als parasitäre erweisen, da die Infection durch die allergeringsten Substanzmengen erfolgt, da die weitere Uebertragung auf andere Thiere ebenfalls mit kleinsten Mengen gelingt, da ferner in den gestorbenen Thieren morphologisch gut charakterisirte Bakterien, stets von derselben specifischen Form, in solcher Menge gefunden werden, dass die Krankheitssymptome und der Tod ausreichende Erklärung finden. — Die hierher gehörigen Formen sind hauptsächlich folgende:

*Micrococcus* der progressiven Gewebnekrose bei Mäusen. Runde Zellen von  $0,5 \mu$  Durchmesser, meist zu zierlichen und regelmässigen Ketten geordnet, zuweilen zu dichteren Haufen zusammengedrängt (Fig. 29). Bewirkt Nekrose der Gewebe; so weit die Mikrokokken reichen, ist keine Blut- oder Bindegewebszelle intact, selbst Knorpelzellen werden zerstört. Das Gangrän geht von der Impfstelle aus in die Umgebung und führt bald (nach circa 3 Tagen) zum Tode; Blut und innere Organe bleiben frei von Mikrokokken. Ihr Verhalten ist derart, dass man eine Production eines löslichen deletären Stoffs durch die Vegetation der Kokken annehmen muss. — Die Krankheit wurde von KOCH durch Einimpfung fauliger Substanzen am Mäuseohr erhalten<sup>1)</sup>; dabei wurden jedoch stets gleichzeitig Septicämie erzeugende Bacillen eingepflegt, welche den Tod des Thieres veranlassten; erst eine Ueberimpfung auf Feldmäuse, die gegen die Bacillensepticämie immun sind, führte zu einer reinen Beobachtung des Krankheitsverlaufs.



Fig. 29.  
Micrococcus der progressiven Gewebnekrose bei Mäusen. (Nach Koch.)  
a. Zellen des Ohrknorpels.  
b. Kettenförmige Mikrokokken.

1) KOCH, Untersuchungen über die Aetiologie der Wundinfektionskrankheiten, Leipzig 1878.

*Micrococcus* der progressiven Abscessbildung bei Kaninchen (KOCH). Kleinste Zellen von nur etwa 0,15 Mikr. im Durchmesser, hauptsächlich in dichten, wolkigen Zoogloeamassen (Fig. 30). Wurde durch Einspritzungen von faulem Blut bei Kaninchen erhalten; an der Injectionsstelle bildete sich ein ausgedehnter Abscess, an dem die Thiere nach etwa 12 Tagen zu Grunde gingen.

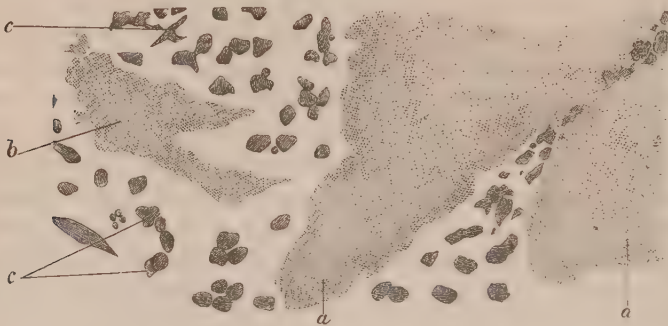


Fig. 30.

*Micrococcus* der progressiven Abscessbildung beim Kaninchen. (Nach KOCH.) 700:1.  
Randzone von einem käsigen Abscess: a = wolkenförmige Zoogloeamassen; b = kleinere Mikrokokkencolonien; c = Kernanhäufung.

Im Blut finden sich keine Bakterien; im käsigen Inhalt des Abscesses findet sich nur eine feinkörnige Masse; die Wand des Abscesses wird aber aus einer dünnen Schicht zu dichten Zoogloeahäufen verbundener Mikrokokken gebildet; nach dem Inneren des Abscesses zu scheint die Zoogloea zu degeneriren und abzusterben. Gleichwohl erweist sich der Abscessinhalt als infectiös und erzeugt dieselbe Krankheit bei gesunden Kaninchen.

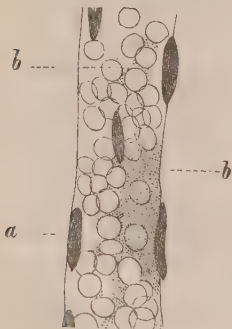


Fig. 31.

*Micrococcus* der Pyämie beim Kaninchen. (Nach KOCH.) 700:1.  
Gefäss aus der Rindensubstanz der Niere.  
a. Kerne der Gefässwand.  
b. Mikrokokken.

*Micrococcus* der Pyämie bei Kaninchen (KOCH). Runde Zellen von 0,25  $\mu$  Durchmesser, meist einzeln oder zu zweien verbunden; pflegen die Blutkörperchen in charakteristischer Weise zu umspinnen und einzuschliessen (Fig. 31). — Die betreffende Krankheit wurde durch Injection von Macerationsflüssigkeit erhalten; bei der Section zeigte sich starke Infiltration um die Injectionsstelle, Peritonitis, metastatische Herde in Lunge und Leber, kurz der Befund der Pyämie. In den Capillaren sämtlicher untersuchter Or-



gane fanden sich dichte Mikrokokkenhaufen mit eingeschlossenen Blutkörperchen; ebenso in den metastatischen Herden, wo sie auch von den Gefässen aus auf das benachbarte Gewebe übergreifen. Im Blut des Herzens und der grösseren Gefässe finden sich ebenfalls reichlich Mikrokokken, doch in Folge der zahlreichen Thromben in nicht so grosser Zahl, wie bei anderen septicämischen Erkrankungen. — Die Uebertragung auf gesunde Kaninchen gelingt durch Einimpfung von Blut aus dem Herzen etc., doch bewirken grössere Dosen (1—3 Tropfen) rascheren Tod (40 Stunden) als kleine ( $\frac{1}{10}$  Tropfen), eben wegen der relativ geringen Menge der Kokken im strömenden Blut.

*Micrococcus* der Septicämie bei Kaninchen. Ovale Zellen, im grössten Durchmesser  $0,8-1,0 \mu$ . Bewirken keine Gerinnungen im Blut, schliessen die Blutkörperchen nie ein, sondern drängen sie zur Seite (Fig. 32). — Die Krankheit wurde von KOCH durch

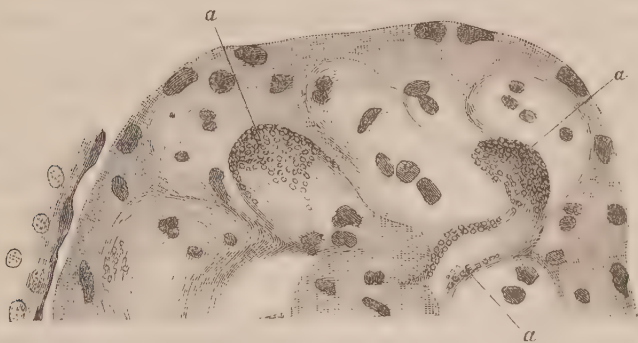


Fig. 32.  
*Micrococcus* der Septicämie beim Kaninchen. (Nach KOCH.) 700:1.  
 Theil eines Glomerulus; bei *a* Capillargefässe mit Mikrokokken.

Injection von Fleischinfus erhalten; nach dem Tode fand sich geringes Oedem an der Injectionsstelle, kleinere Blutextravasate, starke Milzvergrösserung; keine embolische Processe, keine Peritonitis. In den Capillaren der verschiedensten Organe fanden sich obturierende Mikrokokkenmassen, besonders reichlich in den Glomerulis der Nieren. Eingimpftes Herzblut übertrug die Krankheit auf Kaninchen und Mäuse, aber ebenfalls erst in grösserer Menge (2—10 Tropfen).

Beobachtungen am Menschen:

*Micrococcus septicus* (*Microsporon septicum*) ist von KLEBS ein *Micrococcus* genannt, der häufig in Wundsecreten und in den Geweben gefunden wurde; er besteht aus kleinen rundlichen Zellen von  $0,5 \mu$  Durchmesser, die in Haufen dichtgedrängt an einander

liegen oder zu rosenkranzförmigen Fäden vereinigt sind, oder Zoo-gloea bilden. Die Kenntnisse über seine morphologischen Charaktere und seine Bedeutung sind noch ungenügend und seine Bezeichnung daher vorläufig nicht berechtigt.

*Micrococcus* des erysipelatösen Processes. Nach KOCH's Photogrammen kleine Mikrokokken von kugelige Gestalt (Fig. 33),

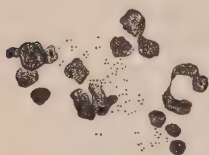


Fig. 33.  
Mikrokokken aus erysipelatösem Eiter. Kerne der Eiterkörperchen mit zwischenliegenden Mikrokokken. (Nach KOCH.) 700:1.

paarweise verbunden oder kurze Ketten bildend in den Lymphgefässen oft dicht gedrängt; hauptsächlich am Erysipelrande zu finden. Von ORTH wurden die Mikrokokken zuerst in künstlicher Nährlösung gezüchtet und von da aus mit Erfolg geimpft.

*Micrococcus diphtheriticus*. Nach OERTEL ist der pathogene charakteristische Pilz der diphtheritischen Erkrankung ein *Micrococcus*, der in eirunden, körnchenförmigen Zellen von 0,35 bis 1,1  $\mu$  Durchmesser auftritt; die Zellen liegen einzeln, häufiger paarweise, oder hängen zu 4—6 rosenkranzförmig zusammen, oder aber bilden kugelige Ballen, cylindrische und streifenförmige Nester auf der Oberfläche und in den Gewebsinterstitien der erkrankten Organe (Fig. 34). Da in OERTEL's Beobachtungen und Versuchen



Fig. 34.  
*Micrococcus diphtheriticus* (?) nach OERTEL. Grosse Exsudatzellen aus einer diphtheritisch erkrankten Trachea von Pilzwucherungen zerstört. Merz I. L.  $\frac{1}{30}$ ". Oc. 1.

auch noch verschiedene andere Bakterienformen aufgetreten sind, da infolge dessen die Identität der in verschiedenen Präparaten als pathogen angesprochenen Organismen zweifelhaft ist, und da zuverlässige Reincultur der pathogenen Organismen noch nicht gelang, so bleibt die Präcisirung der OERTEL'schen Befunde noch weiteren Forschungen vorbehalten.

— KOCH fand bei einem tödtlich verlaufenen Falle von Blasendiphtheritis in den Nieren, und zwar in den Blutgefässen, ausserordentlich zahlreiche gleichförmige Organismen, die aber nicht als Mikrokokken, sondern als kurze Stäbchen, Bakterien, erscheinen. (Photogramm 66 der Mittheil. aus dem Gesundheits-Amt).

Von sonstigen bei Krankheiten des Menschen beobachteten Mikrokokken seien erwähnt:

*Micrococcus vaccinae*. Kugelige Zellen von 0,5  $\mu$  Durchmesser im Mittel; zu 2—8 zelligen Rosenkranzfäden, sowie zu unregelmässigen Häufchen und Colonieen verbunden. In frischer Lymphe von Kuh- und Menschenpocken, sowie in Variolapusteln.

CHAUVEAU und BURDON-SANDERSON suchten die alleinige Wirksamkeit der corpusculären Elemente der Lymphe dadurch zu erweisen, dass sie Lymphe mit Wasser überschichteten resp. filtrirten, bei welchen Versuchen dann die oberen Schichten des Wassers sowie die Filtrate wirkungslos blieben. (Lit. 274 ff.)

*Micrococcus* der Gonorrhoe. Im gonorrhoeischen Eiter fand NEISSER kreisrunde, auffallend grosse Mikrokokken von  $0,83 \mu$  Durchmesser; sie färbten sich stark mit Methylviolett und Dahlia. Meist liegen 2 Mikrokokken dicht nebeneinander, so dass Biscuitformen entstehen; häufig theilt sich dann jede dieser 2 Zellen noch einmal, aber nun in einer auf der ersten Theilungsebene senkrechten Richtung, so dass regelmässige, im Viereck zusammengelagerte Gruppen entstehen. Gewöhnlich werden mehrere solche Gruppen durch eine Schleimhülle zu einer weitläufigen Colonie vereinigt. Die Mikrokokken sind namentlich an der Oberfläche von Eiterkörperchen zu finden. — Die charakteristische Form der Kokken und ihr constantes Vorkommen machen ihre pathogene Bedeutung wahrscheinlich, obwohl ihre Cultur ausserhalb des Körpers noch nicht gelungen ist.<sup>1)</sup>

*Micrococcus* bei Endocarditis ulcerosa. (270—273). Kleine rundliche Zellen in dichter Anhäufung. In grosser Menge in den Gefässen des Herzmuskels. Vgl. die Photogramme 11—14 von KOCH in den Mittheil. a. d. Ges.-Amt. — Ferner sind Mikrokokken als Krankheitserreger bezeichnet bei Pneumonia crouposa (KLEBS, Arch. f. exp. Path. Bd. 4), Osteomyelitis (KOCHER, ROSENBACH, Arch. f. klin. Chir. Bd. 23, SCHÜLLER, Centralbl. für Chir. 1881 No. 42); bei Lupus (SCHÜLLER, l. c. 26. No. 46); bei Condylomen (AUFRECHT, Centr. f. d. med. W. 1881. No. 13; grosse Kokken, meist zu zweien durch Fuchsin auffallend dunkel gefärbt); bei acuter gelber Leberatrophie (EPPINGER, Prag. Viertelj. 1875); bei Haemophilia neonatorum (KLEBS, Beitr. zur pathol. Anat. 1878); bei Scarlatina (COZE und FELTZ, Malad. infectieuses, 1872); bei Typhus (LETZERICH, TIZZONI, 279). Ferner bei der Lungenseuche der Rinder (die Cultur der Mikrokokken soll in Fleischextractlösung gelungen sein, BRUYLANTS und VERRIEST, Bull. de l'Acad. Belg. 1880); bei Rotz (CHAUVEAU), Rinderpest (SEMMER, KLEBS u. A.; vgl. RÖLL, die Thierseuchen, Wien 1881). Alle die letztgenannten Mikrokokken sind bezüglich ihrer morphologischen Charakteristik und ihrer pathogenen Bedeutung noch völlig zweifelhaft. Gerade bei den Mi-

1) NEISSER, Med. Centralbl. 1879. Bd. 17, No. 28. — BOKAI u. FINKELSTEIN, Prag. med.-chir. Presse 1880. Mai.

krokokken ist es besonders schwer, verschiedene Formen deutlich zu unterscheiden, und es gelingt dies nur durch genaueste Beachtung der Form, Lagerung, des Fundorts etc.; ferner scheinen die pathogenen Mikrokokken mehr wie andere Spaltpilzformen der künstlichen Cultur sich zu entziehen. Um so vorsichtiger und zurückhaltender wird man gerade den Mikrokokkenfunden gegenüber sein müssen, mit denen jetzt die parasitäre Lehre überschwemmt wird.

## II. Gattung, *Ascococcus*.

Die kugeligen, kleinen Zellen (Mikrokokken) zu eigenthümlichen Colonieen vereinigt. Bildet auf der Oberfläche von Nährlösungen eine rahmartige Haut, in welcher sich zahlreiche Körperchen von kugeligem oder ovalem Umriss schon makroskopisch unterscheiden lassen. Unter dem Mikroskop zeigt sich, dass jedes der Körperchen aus

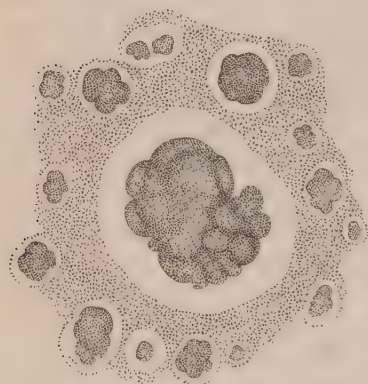


Fig. 35.

*Ascococcus* Billrothii. 65: 1.

Grosse knollige Zellfamilie, umgeben von kleineren und in *Micrococcus* eingelagert. (Nach COHN.)

einer 10—15  $\mu$  dicken, gallertartig-knorpeligen, äusserst resistenten Hülle besteht; in derselben liegen eine oder mehrere kugelige oder elliptische Einschlüsse, von 20—70 und mehr  $\mu$  Durchmesser, die aus dicht an einander gelagerten Kugelbakterien und ungewöhnlich fester spärlicher Intercellularsubstanz bestehen (Fig. 35).

Wurde zuerst von BILLROTH auf faulem Fleischwasser, dann von COHN auf gewöhnlicher Nährlösung beobachtet; in letzterer bewirkte er einen käseartigen Geruch, verwandelte die ursprünglich saure Reaction in eine stark alkalische und veranlasste starkes Entweichen von Ammoniak. — *Ascococcus* schliesst sich morphologisch aufs Engste an einige *Chroococcaceen* an.<sup>1)</sup>

Wurde zuerst von BILLROTH auf faulem Fleischwasser, dann von COHN auf gewöhnlicher Nährlösung beobachtet; in letzterer bewirkte er einen käseartigen Geruch, verwandelte die ursprünglich saure Reaction in eine stark alkalische und veranlasste starkes Entweichen von Ammoniak. — *Ascococcus* schliesst sich morphologisch aufs Engste an einige *Chroococcaceen* an.<sup>1)</sup>

## III. Gattung, *Sarcina*.<sup>2)</sup>

Zellen rundlich, in 2 oder 3 Richtungen des Raumes getheilt; die Tochterzellen bleiben eine Zeitlang verbunden und bilden kleine Familien, die oft wieder zu grösseren Colonieen vereinigt sind. In der Regel bestehen die Familien aus 4 oder einem Multiplum von 4 Zellen.

1) COHN, Beiträge. Bd. I, Heft 3, S. 146, 151.

2) Nach RABENHORST (16).



*Sarcina ventriculi* [GOODSIR<sup>1)</sup>]. Rundliche bis  $4\ \mu$  grosse Zellen, zu 4—16 zu kleinen, an den Ecken abgerundeten Würfeln verbunden; diese zu grösseren Convoluten vereinigt. Zellinhalt grünlich oder gelbröthlich (Fig. 36). — Im Magen gesunder und kranker Menschen und Thiere; am häufigsten im Erbrochenen gefunden. Zuweilen erhält man Ansiedlungen von *Sarcina* auf ausgelegten Kartoffelscheiben, auf Eiweiss etc., die sich dann als hellgelbe oder chromgelbe trockene Häufchen bemerkbar machen.<sup>2)</sup>



Fig. 36.  
*Sarcine*. 650 : 1.

*Sarcina urinae*. Sehr kleine Zellen,  $1,2\ \mu$  im Durchmesser, zu 8 bis 64 in Familien vereinigt. Von WELCKER in der Harnblase beobachtet. (Z. f. rat. Med. 3. Ser. Bd. 5.)

*Sarcina litoralis*. Kugelige Zellen,  $1,2$ — $2\ \mu$  im Durchmesser, zu 4—8 zu Familien verbunden, diese bis zu 64 Tetraden in einer Colonie vereinigt. Plasma farblos, in jeder Zelle 1—4 rothe Schwefelkörner. In faulendem Meerwasser (OERSTED).

*Sarcina Reitenbachii*. Zellen wie oben, bei der Theilung bis zu  $4\ \mu$  verlängert, meist zu 4—8, selten zu 16 und mehr verbunden. Zellwand farblos mit rosarothem Wandbelag. An faulenden Wasserpflanzen (CASPARY).

*Sarcina hyalina* (*Merismopedia hyalina*). Zellen kugelig, fast farblos,  $2\frac{1}{2}\ \mu$  im Durchmesser; Familien aus 4—24 Zellen, bis  $15\ \mu$  im Durchmesser. In Sümpfen (KÜTZING).

#### IV. Gattung, Clathrocystis (Cohnia).

*Clathrocystis roseo-persicina* (*Bacterium rubescens*, Peach-coloured Bacterium, LANKESTER), von COHN unterschieden; von WINTER *Cohnia roseo-persicina* genannt, weil der Name *Clathrocystis* einer Algenart angehört.<sup>3)</sup> Zellen kugelig oder oval, roth gefärbt, bis  $2,5\ \mu$  Durchmesser. Bilden anfangs solide, durch Gallert verbundene Familien; später entstehen hohle Körper, mit wässriger Flüssigkeit erfüllt und bis zu  $660\ \mu$  Durchmesser; in diesen bilden die Zellen eine einfache periphere Lage. Die Blasen sind oft zerrissen oder durchlöchert, und stellen dann zierliche Netze dar, die sich schliesslich in unregelmässige Fetzen auflösen.

Der rothe Farbstoff, der in den Zellen enthalten ist, wird als Bakteriopurpurin von anderen Farbstoffen unterschieden; derselbe ist auch

1) Edinb. Med. and Surg. Journ. 1842.

2) COHN, Beitr. Bd. I, Heft 2, S. 139. — Vgl. ferner ITZIGSOHN, Virch. Arch. Bd. 13. — VIRCHOW u. COHNHEIM, ebenda. Bd. 33. — PASTEUR, Ann. de chim. et de phys. Bd. 64, 1862.

3) RABENHORST-WINTER (16). — COHN, Beiträge. Bd. I, Heft 3, S. 157. — LANKESTER, Quart. Journ. of Micr. sc. Bd. 13, 1873, S. 408.

in einigen unten erwähnten Monasarten enthalten, ist aber durchaus verschieden vom Farbstoff des *Micrococcus prodigiosus*. Bakteriopurpurin ist pfirsichblüthroth, ist in Wasser, Alkohol etc. unlöslich, zeigt vor dem Spektroskop starke Absorption in Gelb, schwächere in Grün und Blau, sowie eine Verdunkelung in der stärker brechbaren Hälfte des Spektrums. In dem Farbstoff ist kein Chlorophyllsubstrat enthalten. — In den Zellen, besonders in älteren Individuen lassen sich dunkle Körner bemerken, die aus regulinischem Schwefel bestehen. — *Clathrocystis* ist in Sümpfen auf der Oberfläche schwimmend oder in Wasser, in dem Algen faulen, gefunden.

#### V. Gattung, *Bacterium*.

Kurz cylindrische, bewegliche Zellen. Nach der Theilung bleiben oft 2 bis 4 Zellen mit einander verbunden, aber selten werden längere Ketten und Fäden gebildet, und in solchen sind jedenfalls stets deutliche Abstände zwischen den einzelnen Gliedern sichtbar. Sehr häufig bilden die Bakterien Zoogloea mit sehr reichlicher, fester Zwischensubstanz; in diesem Zustand sind die Zellen in Ruhe, aber die Theilung und Vermehrung kann fort dauern. Zuweilen kommt diese Zoogloea als baumförmiges Gebilde vor, das durch dendritische Verzweigung des ursprünglich mehr weniger kugeligen Gallertkörpers entstanden ist (*Zoogloea ramigera*, von ITZIGSOHN und später von KOCH auf faulender Algenflüssigkeit beobachtet).<sup>1)</sup> — Die Zellen sind entweder Cylinder mit geraden Seitenwänden, oder zeigen in der Mitte eine Einschnürung, so dass eine Biscuitform resultirt. Letzteres ist namentlich der Fall bei in rascher Theilung begriffenen Zellen.

Es ist selbstverständlich, dass Bakterien leicht sowohl mit Mikrokokken wie mit Bacillen verwechselt werden können. Eine Verwechslung mit Mikrokokken ist namentlich dann möglich, wenn es sich um in der Mitte eingeschnürte oder in der Theilung begriffene Bakterien und andererseits um getheilte, aber noch aneinanderhängende Mikrokokken handelt. Bei letzteren ist indess meist deutlich die Kugelgestalt der einzelnen Glieder zu erkennen, ausserdem ist die Einschnürung in der Mitte in solchem Falle scharf, spitzwinklig, und eine Querscheidewand trennt mehr weniger deutlich die beiden Zellen. Bei Bakterien ist die Einziehung meist flach, nicht spitzwinklig und es fehlt die deutliche Querscheidewand; oder die oblonge Gestalt der Bakterien ist so deutlich ausgebildet, dass keine Verwechslung stattfinden kann. Wenn freilich die Mikrokokken oval, oder die Bakterien nicht scharfeckig, sondern abgerundet sind, bleibt die Unterscheidung einzelner Zellen fast unmöglich.

In solchen Fällen muss man suchen, eine grössere Zahl der fraglichen Spaltpilze und Gruppen derselben vor Augen zu bekommen. Hier

1) ITZIGSOHN, Sitzungsber. d. Gesellsch. naturf. Freunde in Berlin 1867. — KOCH, Cohn's Beitr. Bd. II, Heft 3, S. 414.

zeigt sich dann, dass aneinanderhängende Mikrokokken nicht selten auch Ketten von 3,5 Einzelzellen und ausserdem oft winklige Figuren bilden; dabei ist die Anlagerung der Zellen eine sehr enge und gleichmässig dichte und man bemerkt auch hier und da Strecken von einzelnen nicht in Theilung begriffenen rein kugeligen Zellen. Bei in Theilung begriffenen Bakterien ist die Zahl der aneinanderhängenden ovalen Zellen eine gerade; zwischen 2 einzelnen Bakterien pflegt ausserdem ein Zwischenraum zu bestehen, der sich nach der Theilung meist deutlich markirt, von dem aber vor der definitiven Theilung nichts zu bemerken ist; die flache Einschnürung eines einzelnen Gliedes ist deutlich davon zu unterscheiden. Die ganze Kette gewinnt dadurch ein anderes, weniger gleichmässiges Aussehen, als bei Mikrokokken. — Ferner findet man die Mikrokokken fast stets auch noch in Gruppen so zusammengelagert, dass keine Stäbchenform resultirt, und einige ganz isolirt und dann eine reine kugelige oder höchstens etwas ovale Zelle repräsentirend. Dabei darf nur nicht unbeachtet bleiben, dass Stäbchen auch leicht sich senkrecht stellen und dann natürlich als kugelige Zellen erscheinen. Diese Art der Lagerung kann unter Umständen leicht zu der Annahme einer Verwandlung von Mikrokokken in Stäbchen führen. — Die Beweglichkeit der Stäbchen, die stete Unbeweglichkeit der Mikrokokken kann weitere Anhaltspunkte zu ihrer Unterscheidung geben.

Bacillen und Bakterien sind im Einzelnen kaum different; Bakterien sind kürzere, Bacillen längere Cylinder; als Bakterien bezeichnet man die Zellen, wenn der Längsdurchmesser höchstens 3 mal so lang ist als der Querdurchmesser; als Bacillen, wenn der Längsdurchmesser noch mehr überwiegt. Beide Formen gehen aber offenbar fast unmerklich in einander über und man würde kaum Grund haben, die Trennung zwischen Bakterien und Bacillen aufrecht zu erhalten, wenn nicht noch einige andere mehr weniger durchgreifende Unterscheidungsmerkmale hinzukämen; diese bestehen namentlich darin, dass Bacillen leicht zu langen Fäden auswachsen, bei denen keine merklichen Zwischenräume zwischen den einzelnen Zellen bestehen, so dass oft sogar die Querwände der Fäden völlig verwischt erscheinen; ferner, dass Bacillen besonders zur Bildung von resistenten Dauersporen befähigt sind.

Auch bei den Bakterien kann man zymogene, pigmentbildende und pathogene unterscheiden.

#### a) Zymogene Bakterien.

*Bacterium termo*. Zellen kurz cylindrisch, oblong;  $1,5 \mu$  lang,  $0,5-0,7 \mu$  breit; der Inhalt je nach der Einstellung hell schimmernd oder schwärzlich, die Membran verhältnissmässig dick. In regellosen dichten Haufen, oder zu Reihen geordnet und Schwärme bildend, oder in dichter, traubig kugeligem Zoogloea (Fig. 37). Von DALLINGER und DRYSDALE wurden Geisseln an *Bacterium termo* wahrgenommen. Seine Bewegung ist von der anderer Bakterien nicht wesentlich verschieden; „die Zellen drehen sich um ihre Längsachse

und schwimmen vorwärts, dann wieder ohne umzukehren ein Stück zurück, oder fahren auch in Bogenlinien durch das Wasser, in der Regel nicht sehr schnell, gleichsam zitternd oder wackelnd, doch auch mit plötzlichem Sprunge raketenartig dahinschiessend, bald um die Querachse gedreht wie der Griff eines Bohrers, oft blitzschnell wie ein Kreisel, dann wieder längere Zeit ruhend, um plötzlich auf und davon zu fahren“ (COHN). — *Bacterium termo* kommt in ausserordentlicher Verbreitung in allen möglichen sich zersetzenden, faulenden Flüssigkeiten vor und ist höchst wahrscheinlich bei dem Fäulnisprozess in irgend welcher Weise activ betheiligt. Es ist aber noch unbekannt, welche specielle Function dem *Bacterium termo* dabei zukommt; zu der stinkenden Zersetzung eiweissartiger Körper sind jedenfalls noch andere Spaltpilze, namentlich Bacillen erforderlich; ebenso findet man in gewissen Fäulnisstadien stets Mikrokokken in grosser Zahl. Wie die complicirten chemischen Vorgänge bei der Fäulnis sich auf diese verschiedenen Spaltpilze vertheilen, ist noch unbekannt. In Nährlösungen rein gezüchtetes *Bacterium termo* pflegt keinen fauligen, sondern mehr einen käseartigen Geruch zu veran-



Fig. 37.  
*Bacterium termo* 650:1.  
 a. Einzelne Bakterien; b. Bakterienschwarm.

lassen; bei ausgesprochen fauligem Geruch sind gewöhnlich Bacillen zugegen.<sup>2)</sup> Möglicherweise kommt dem *Bacterium termo* beim Fäulnisprozess nur eine dem Milchsäureferment ähnliche Wirkung zu, welchem es auch zufälligerweise — nach den bis jetzt gegebenen, übrigen unzulänglichen Beschreibungen des Milchsäureferments — morphologisch sehr nahe steht.

J. C. EWART<sup>3)</sup> hat die Entwicklungsgeschichte von *Bact. termo* in der feuchten Kammer folgendermassen beobachtet: Die Stäbchen (deren Grössenverhältnisse nicht angegeben sind) wuchsen zu Fäden aus, kürzer als bei Milzbrand und ohne Neigung, ein Netzwerk oder Mycel zu bilden; in den Fäden erschienen bald kleine, glänzende, runde Sporen. 2—3 Tage nach der Bildung entschlüpften sie aus den Fäden und lagen entweder, in der Nähe der Mitte der Cultur, isolirt oder aber bildeten am Rande derselben Zoogloea. Nach einiger Zeit keimten sie in kurz schlankere Stäbchen aus, die sich dann durch Quertheilung vermehrten. Die beigegebenen Abbildungen zeigen aber, dass EWART nicht das vor sich

1) Monthly Microscop. Journ. 1875. Sept.

2) Vgl. die Versuche von EIDAM, Cohn's Beitr. I. Bd., 3. Heft, S. 214.

3) Proc. of the Roy. Soc. Vol. 27. 1878, S. 474.



gehabt hat, was COHN u. A. unter *Bacterium termo* verstehen, sondern irgend einen *Bacillus*.

*Bacterium* der Milchsäuregährung. Nach PASTEUR kurze, etwa  $1,5$  bis  $3\ \mu$  lange, in der Mitte eingeschnürte Zellen, die sich zu kurzen Fäden und zu dichten Gruppen zusammenlagern; meist lebhaft beweglich (Fig. 38). Bewirken die Umwandlung des Milchzuckers der Milch in Milchsäure; vollführen diese Gährung ohne Anwesenheit von Sauerstoff, können aber auch bei Gegenwart von Sauerstoff bestehen und wirken als Vorläufer des vollkommen anaëroben Buttersäureferments, indem sie die Milch des Sauerstoffs berauben. — Die bei der Säuerung der Milch auftretenden Spaltpilze sind indess noch bei weitem nicht hinreichend genau gesondert und morphologisch charakterisirt, um die beschriebene Art als die specifisch wirksame anzuerkennen.



Fig. 38.  
Ferment lactique (?). (Nach PASTEUR.) 500:1.

*Bacterium* der Essiggährung. (*Mycoderma aceti*, *Mycoderme du vinaigre*). Zellen denen der Milchsäuregährung ähnlich, etwas kleiner; oft zu rosenkranzförmigen Ketten verbunden. Bildet ein Häutchen auf der Oberfläche der Flüssigkeit. Verwandelt den Alkohol in Essigsäure. — Auch diese von PASTEUR beschriebene Form bedarf noch der näheren Charakterisirung.



Fig. 39.  
*Bacterium* der Essiggährung (?).  
*Mycoderme du vinaigre*.  
(PASTEUR.) 500:1.

Ohne bekannte Fermentwirkung:

*Bacterium Lineola*. Zellen von  $3,8$ — $5,2\ \mu$  Länge,  $1,5\ \mu$  Breite; einzeln oder paarweise an einander hängend, aber nie längere Fäden bildend, zuweilen in Zoogloea. Die Zellen haben einen stark lichtbrechenden, mit fettartigen Körnchen durchsetzten Inhalt (Fig. 40). Bewegung wie bei *Bacterium termo*. In Brunnen- und anderem Wasser, in schleimigen Haufen auf der Oberfläche von Kartoffelscheiben etc.



Fig. 40.  
*Bacterium Lineola*.  
(Nach COHN.) 650:1.

*Bacterium litoreum*. Zellen ellipsoidisch,  $2$ — $6\ \mu$  lang,  $1,2$  bis  $2,4\ \mu$  dick; einzeln, nie in Ketten, Zoogloea oder grossen Haufen. Nur im Meerwasser von WARMING gefunden.

*Bacterium fusiforme*. Zellen spindelförmig, spitz,  $2$ — $5\ \mu$  lang,  $0,5$ — $0,8\ \mu$  dick; in lockerer Schicht auf Meerwasser. (WARMING, Meddelelser fra den Naturhist. Forening i Kjöbenhavn, 1875.)

### b) Pigmentbakterien.

*Bacterium synxanthum* (xanthinum). Zellen von  $0,7$ — $1,0\ \mu$  Länge, von *Bacterium termo* wenig verschieden; lebhaft beweglich,

einzeln oder bis zu 5 in Ketten verbunden. — Bei der sog. gelben Milch beobachtet; die gekochte Milch färbt sich gleichmässig gelb unter anfangs saurer, dann stark alkalischer Reaction. Der Farbstoff ist in Wasser löslich, in Aether und Alkohol unlöslich; Alkalien verändern denselben nicht, Säuren entfärben ihn.<sup>1)</sup>

*Bacterium aeruginosum.* Farblose Bakterien von nicht gemessener Grösse; produciren einen grünblauen Farbstoff, der sich ziemlich weit in die Umgebung verbreitet. Im grünblauen Eiter.<sup>1)</sup>

*Bacterium brunneum.* Bewegliche Stäbchen, die einen braunen Farbstoff produciren; in einer faulenden Infusion von Maiskörnern beobachtet.<sup>1)</sup>

*Bacterium syncyanum*, s. unter *Bacillus*.

### c) Pathogene Bakterien.

Man nahm früher an, dass Bakterien, speciell *Bacterium termo*, nur in abgestorbenen Geweben und Flüssigkeiten sich entwickeln könnten, nicht aber im lebenden Organismus. Neuere Beobachtungen haben indessen mehrere exquisit pathogene Bakterienformen kennen gelehrt, die durch Experimente am Thier sorgfältig geprüft werden konnten.

*Bacterium der Septicämie bei Kaninchen.* Kurze, an den Enden schwach zugespitzte und nach Anwendung der Färbemethoden dunkel gefärbte Stäbchen, in deren Mitte eine Stelle ungefärbt bleibt; es besteht keine Einschnürung in der Mitte, aber die eigenthümliche Vertheilung des Farbstoffs täuscht leicht 2 neben einander liegende Mikrokokken vor. Länge 1,4, Breite 0,6—0,7  $\mu$ . Oft bleiben 2 und mehrere Bakterien nach der Theilung im Zusammenhang und bilden scheinbar längere Stäbchen; sie erscheinen dann leicht unter der Form einer 8 und sind von einem etwas helleren Hof umgeben. Selbständige Bewegung wurde nicht bemerkt (Fig. 41).



Fig. 41.  
*Bacterium der Septicämie.*  
(Nach KOCH.) 700 : 1.  
Blut eines Sperlings;  
Kerne der rothen Blutkörperchen und dazwischen zahlreiche Bakterien.

Impft man die kleinste Menge einer Flüssigkeit, welche diese Stäbchen enthält, einem Kaninchen ein (selbst ein Impfstich in die Cornea genügt), so zeigt sich nach einer Incubation von 10—12 Stunden erhöhte Körpertemperatur und verlangsamte, mühsame Athmung; schliesslich sinkt die Temperatur unter die Norm, und nachdem oft einige Krampfanfälle vorausgegangen sind, verendet das Thier 16—20 Stunden nach der Impfung. Bei der Section zeigen sich die Milz und die Lymphdrüsen vergrössert, die Lungen auffallend marmorirt; dabei bestehen aber keine Extravasate, keine Peritonitis. Ueberall im Blut finden sich in gleichmässiger Vertheilung die charakteristischen Stäbchen; in den ver-

1) SCHRÖTER, Cohn's Beiträge. Bd. I, Heft 2, S. 120.

schiedensten Organen finden sie sich in den Durchschnitten der Blutgefäße und Capillaren. — Mäuse zeigten sich für diese Form der Septicämie ebenso empfänglich wie Kaninchen; ebenso Sperlinge und Hühner; Meerschweinchen, weisse Ratten, Hunde waren immun. — Besonders interessant ist diese pathogene Bakterienform dadurch, dass sie sich leicht künstlich züchten lässt; sie gedeiht in kalt bereitetem Infus von Rindfleisch; ferner auf Blutsrumgelatine und auf einer mit Fleischinfus und Peptonlösung gemischten Gelatine. Auf letzteren lässt sie sich leicht durch eine beliebige Anzahl von Generationen hindurch rein und in vollkommen gleicher Weise impfkraftig erhalten. — Die besprochene Septicämie wurde primär von KOCH durch Injection von verunreinigtem Flusswasser (Pankewasser), sowie ein anderes Mal durch in Fäulniss übergegangene Pökelfleischlake, gewonnen. Zahlreiche andere Versuche mit faulendem Material schlugen fehl, so dass die Verbreitung dieser Bakterien keine sehr allgemeine zu sein scheint.<sup>1)</sup>

Mit dem letztbeschriebenen Bacterium scheint der Spaltpilz identisch zu sein, der nach Versuchen von RAYNAUD, LANNELONGUE und von PASTEUR für eine Krankheit charakteristisch war, welche bei Kaninchen durch Injection von Speichel eines an Lyssa gestorbenen Kindes erzeugt wurde. Die ganze Beschreibung der Anfangs „rage“, dann „maladie nouvelle“ genannten Krankheit lässt auf vollständige Uebereinstimmung derselben mit KOCH's Septicämie schliessen. Den betreffenden Spaltpilz beschreibt PASTEUR als ein Stäbchen mit leichter Einziehung in der Mitte, von 1  $\mu$  Längsdurchmesser und von einer gelatinösen Substanz gleich einer Aureole umgeben. Die Stäbchen liessen sich künstlich in Kalbsbrühe züchten.<sup>2)</sup>

Auch die von DAVAINÉ früher beschriebene<sup>3)</sup> Septicämie zeigt in Bezug auf den charakteristischen Spaltpilz grösste Uebereinstimmung mit dem KOCH'schen Bacterium; sie scheint im übrigen aber dadurch verschieden, dass Meerschweinchen empfänglich, Tauben dagegen unempfänglich waren. Möglich, dass auch dennoch geringe, nach den Abbildungen nicht controlirbare morphologische Differenzen zwischen beiden Bakterien existiren.

Bacterium der Hühnercholera (*Microbe du choléra des Poules*). Nach PASTEUR sehr kleine, unbewegliche Glieder, in der Mitte leicht eingeschnürt (Fig. 42); gehört zu den Aëroben. Bei einer eigenthümlichen Krankheit der Hühner in reichlicher Menge im Blut und in den Organen gefunden. Die Krankheit be-



Fig. 42.  
Microbe du choléra des Poules. PASTEUR. 500:1.  
A. Aus frischer Cultur.  
B. Aus mehrere Tage alter Cultur.

1) KOCH, GAFFKY, Mitth. aus dem Kais. Gesundheitsamt. Bd. I, S. 94 ff.

2) Bull. de l'Acad. de méd. 1881.

3) Bull. de l'Acad. de méd. 1872.

schreibt PASTEUR folgendermassen: Das ergriffene Thier ist kraftlos, taumelig, hängt die Flügel; die gesträubten Federn lassen es kugelförmig erscheinen. Eine unüberwindliche Schlagsucht überfällt es; wenn man es zwingt, die Augen zu öffnen, scheint es aus einem tiefen Schlaf zu erwachen. Bald schliessen sich die Augenlider wieder und meist ereilt der Tod das Thier nach einem stummen Todeskampfe, ohne dass es sich vom Fleck bewegt hat. — Bei der Section findet sich als besonders charakteristisch eine hämorrhagische Enteritis des Duodenums. Das Blut lässt sich sofort mit Erfolg weiterimpfen. Der Pilz ist aber auch ausserhalb des Körpers in neutralisirter Hühnerbouillon und in damit hergestellter Gelatine leicht zu züchten. Zuweilen überleben die Thiere die Infection, und dann entwickeln sich nur an der Impfstelle harte, speckige Infiltrationen, die zur Bildung eines meist deutlich fühlbaren und leicht extrahirbaren Sequesters führen.<sup>1)</sup>

Bei Krankheiten des Menschen sind bereits öfter charakteristische Bakterien beobachtet, aber die pathogene Natur derselben hat noch nicht sicher nachgewiesen werden können. So fanden sich Bakterien bei Pneumonie, bei Pyelonephritis etc.; vgl. die Photogramme von KOCH, Mittheil. d. Reichs-Gesundheitsamtes, Fig. 57—63.

## VI. Gattung, *Bacillus*.

Längliche cylindrische Zellen, die nach der Theilung häufig miteinander verbunden bleiben und walzenrunde, an den Theilungsstellen nicht eingeschnürte Fäden bilden. Diese Fäden werden häufig als *Leptothrix* bezeichnet (s. unten). An mehreren Bacillen ist ausserdem eine deutliche Sporenbildung beobachtet (vgl. S. 90). Die Bacillen vereinigen sich oft zu Schwärmen, selten zu Zoogloea; auch bei ihnen wechseln, wie bei den Bakterien, bewegliche und unbewegliche Zustände ab; bei manchen Arten scheint überhaupt kein Schwärmerzustand vorzukommen. — Die Gruppe der Bacillen ist, wie in Bezug auf ihre Morphologie, so auch bezüglich ihrer physiologischen Leistungen relativ am besten erkannt. Wir haben unter den Bacillen bestimmte Gährungserreger, pigmentbildende Arten und namentlich pathogene Formen von grösster Bedeutung, deren Entwicklungsgeschichte in lückenloser Folge bekannt ist.

### a) *Zymogene Bacillen*.

*Bacillus subtilis*. Cylindrische Stäbchen bis  $6\ \mu$  lang, mehr wie 3 mal so lang als dick. Die einzelnen wachsen bis auf das

1) Bull. de l'Acad. de méd. 1880. Févr. ff.



Doppelte ihrer Länge und theilen sich dann. Die Zeitdauer von der einen bis zur nächsten Theilung ist bei  $21^{\circ}$  zu  $\frac{5}{4}$  Stunden, bei  $35^{\circ}$  zu 20 Minuten beobachtet. Häufig entstehen Scheinfäden, welche bald durch ihre Verschiebung in zickzackförmige Einknickungen die Zusammensetzung aus Stäbchen deutlich zeigen, bald eine solche nicht erkennen lassen. Die einzelnen Glieder eines Fadens sind meist in den verschiedenen Stadien des Wachstums und der Theilung begriffen und daher von differenter Länge. Unter verschiedenen, noch nicht näher zu bezeichnenden Umständen fangen die Stäbchen an zu schwärmen; die Bewegungen sind lebhaft, schlangenartig. An beiden Enden des Stäbchens ist je eine ziemlich lange und gewundene Geissel bemerkbar, namentlich nach dem Behandeln mit Hämatoxylinlösung (KOCH). — Wenn das Substrat an Nährstoffen ärmer wird, hört die fortgesetzte Vermehrung der Stäbchen durch Theilung allmählich auf, und dann wird gewöhnlich die Sporenbildung eingeleitet. An einer Stelle des jetzt unbeweglich gewordenen Stäbchens zeigt sich ein dunkler Schatten, bald mehr in der Mitte, bald mehr an einem Ende, und schliesslich wird dieser Schatten zur lichtglänzenden, dunkelconturirten Spore. Die Stäbchen schwellen dabei zuweilen in fast unmerklicher Weise an. Zugleich mit der Sporenbildung werden ihre Conturen matt und undeutlich, und bald verschwinden sie vollständig, so dass die Sporen meist schon nach Verlauf eines Tages frei sind. Die Sporen haben eine Länge von  $1,2\mu$ , eine Breite von  $0,6\mu$ ; von oben gesehen erscheinen sie rund. Um ihren dunkeln Kern zeigt sich deutlich ein lichtheller Hof, der auch beim Aneinanderlagern mehrerer Sporen zwischen diesen erhalten bleibt. Die Keimung der Sporen verzögert sich bei

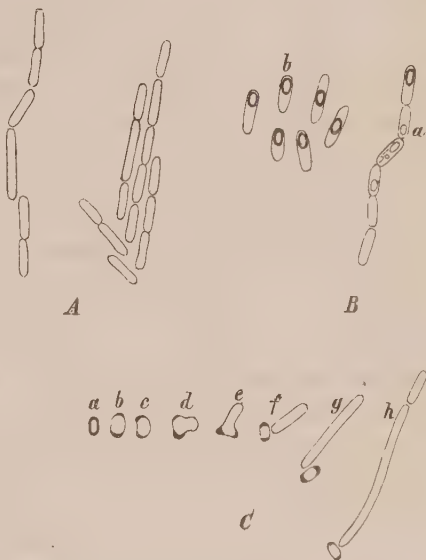


Fig. 43.

Bacillus subtilis. (Nach PRAZMOWSKI.) 1020 : 1.

A. Colonien von *Bac. subtilis*.

B. Sporenbildung, a. in einem Scheinfaden; b. in Einzelstäbchen.

C. Keimung der Sporen; a-h aufeinanderfolgende Stadien.

gewöhnlicher Zimmertemperatur oft um einen halben Tag; am schnellsten geht sie vor sich, wenn die Sporen in der Nährlösung 5 Minuten gekocht und dann langsam abgekühlt werden; die Keimung erfolgt unter diesen Umständen schon nach 2—3 Stunden. Die Sporen verlieren dabei ihr dunkles Aussehen, zugleich verschwindet der lichte Hof, und in der Mitte der Spore tritt eine hellere Zone auf. Diese wird grösser, und dann erscheint an der einen Längsseite eine deutliche Ausbuchtung, an deren Spitze schliesslich die Oeffnung der Sporenmembran erfolgt, um den Keimling hervortreten zu lassen. Dieser verlängert sich zum Stäbchen, bleibt aber mit seinem hinteren Theile einstweilen noch in der Oeffnung der entleerten Sporenmembran stecken, die ihm wie eine Blase anhängt. Oft ist die Sporenmembran selbst noch nach mehrfacher Theilung der Stäbchen deutlich zu erkennen und begleitet die schwärmenden Bacillen auf ihren Wanderungen. Das ausgekeimte Stäbchen steht immer senkrecht auf der Längsachse der Spore; die sich bildende Spore aber hat die gleichgerichtete Längsachse wie das Stäbchen, in dem sie entsteht; folglich entsteht durch die Sporenbildung eine Kreuzung der Wachstumsrichtungen der Bacillen.<sup>1)</sup>

Der *Bacillus subtilis* ist äusserst verbreitet; seine Sporen finden sich in der Luft, im Staub, auf der Oberfläche aller möglichen Gegenstände. Auf dem Mist von Pflanzenfressern bildet er weisse Efflorescenzen; auf Mistjauche bildet er dicke, faltige Häute. Er gedeiht auf den verschiedensten Nährsubstraten, selbst wenn sie nur wenig organische Substanz enthalten, auf flüssigen ebensowohl wie auf festem, aber feuchtem Nährboden; stärker saure Reaction der Medien ist jedoch seiner Entwicklung besonders leicht hinderlich. Auf Kartoffelscheiben bildet er weissgelbliche Haufen, auf Flüssigkeiten anfänglich dünne, später dicke, faltige Häute, die schliesslich zu Boden sinken und dann hauptsächlich aus Sporen bestehen. Am einfachsten erhält man eine einigermassen reine Cultur dieses *Bacillus* dadurch, dass man mit etwas Heustaub eine der gewöhnlichen Nährlösungen inficirt, oder dass man ein Infus von Heu als Nährlösung benutzt; man kocht die Flüssigkeit dann etwa  $\frac{1}{4}$  Stunde; dabei werden fast sämtliche andere Spaltpilze getödtet und nur die äusserst resistenten Bacillensporen bleiben entwicklungsfähig. Der *Bacillus subtilis* ist ein Aërobium; schliesst man den Sauerstoff ab, so hört jede Weiterentwicklung des *Bacillus* auf, die Stäbchen ster-

---

1) BREFELD, Botan. Unters. über Schimmelpilze. Heft 4. Leipz. 1881. — PRAZ-MOWSKI (62).

ben ab, indem sie sich schraubenartig winden und verschrumpfen. Namentlich auch zur Sporenbildung ist die Anwesenheit freien Sauerstoffs erforderlich.

Eine besondere Art der Gährungserregung durch den *Bac. subtilis* ist nicht bekannt. Früher hielt man ihn für das Ferment der Buttersäuregährung (PASTEUR, COHN), (ausserdem wird nach FITZ die Vergährung von Glycerin unter Bildung von Aethylalkohol durch *Bac. subtilis* bewirkt)<sup>1)</sup>; doch bestehen zwischen dem hier beschriebenen *Bac. subtilis* und dem ebenfalls sehr verbreiteten und sehr ähnlichen Buttersäurebacillus gewisse Differenzen, die zur Unterscheidung zweier distinkter Arten nöthigen.

*Bacillus butyricus* (*Clostridium butyricum*, *Bacil-*

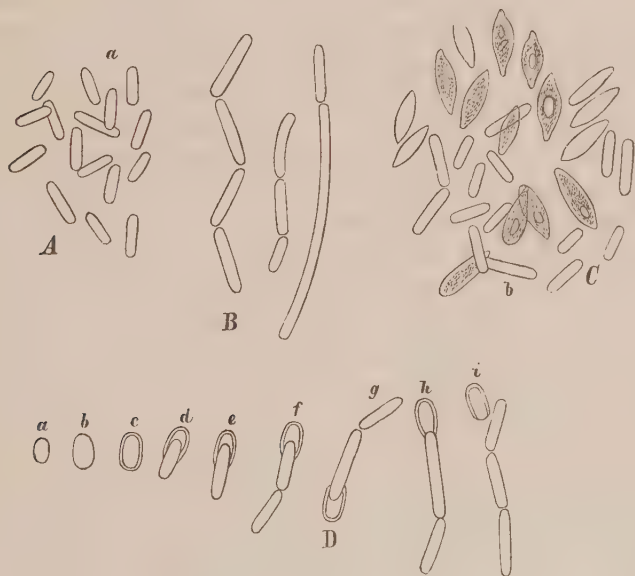


Fig. 44.

*Bacillus butyricus*. (Nach PRAZMOWSKI.) 1020 : 1.

A u. B. Colonieen und Ketten von Bacillen.

C. Colonie mit angeschwollenen, spindelförmigen und sporenbildenden Bacillen.

D. Keimung der Sporen; a-i aufeinanderfolgende Stadien.

*lus amylobacter*).<sup>2)</sup> Stäbchen von 3—10  $\mu$  Länge, unter 1  $\mu$  breit; oft so dünn, dass sie nicht vom *Bac. subtilis* zu unterscheiden

1) Ber. d. chem. Ges. Bd. 11, S. 47 u. 1892.

2) Vgl. über *Bac. subtilis* u. *butyricus*: COHN, Beiträge. Bd. I, Heft 2, S. 175; Bd. I, Heft 3, S. 188. — PRAZMOWSKI (62). — VAN TIEGHEM, Bull. de la soc. botan. de France. Vol. 24. 1877. — TRÉCUL, Compt. rend. 1865, 1867.

sind. Häufig Bildung von Ketten oder scheinbar ungegliederten Fäden. Meist lebhaft beweglich, zuweilen aber auch Zoogloeabildung. Nach einiger Zeit pflegen die Stäbchen ihr Längenwachsthum einzustellen und in die Dicke zu wachsen; kürzere Stäbchen verdicken sich hauptsächlich in der mittleren Region und nehmen Spindelform an; längere werden oft durch Verdickung an einem Ende kaulquappenförmig. Die Dicke der angeschwollenen Stäbchen beträgt 1,8 bis 2,6  $\mu$ . Zugleich wird das Plasma stärker lichtbrechend und die Membran erheblich verdickt. Sodann beginnt die Sporenbildung; die ovoiden Sporen sind 2—2,5  $\mu$  lang und 1  $\mu$  breit; sie werden nach Auflösung der Mutterzellmembran frei. Die Auskeimung der Sporen geht so vor sich, dass an dem einen spitzen Ende der länglichen Spore die Doppelcontourirung der Sporenmembran schwindet und der Keimschlauch hervortritt; die Längsrichtung des letzteren fällt also hier mit der Längsachse der Spore zusammen. Die derbe Sporenhaut schrumpft nicht und wird oft noch lange von dem jungen Stäbchen nachgeschleppt.

Der *Bac. butyricus* ist ein exquisites Anaërobium; seine sämtlichen Lebensfunctionen scheinen von der Gegenwart freien Sauerstoffs vollkommen unabhängig zu sein und durch grössere Mengen desselben sogar unterdrückt zu werden. Auch die Sporenbildung und Auskeimung der Sporen scheint nur bei Sauerstoffabschluss vor sich zu gehen. — Dadurch ist dieser *Bacillus* von *Bac. subtilis* auch in physiologischer Beziehung wesentlich verschieden. Ausserdem zeigen die Sporen des *Bac. butyricus* nicht die gleiche Resistenz, wie die Sporen vom *Bac. subtilis*. Eine etwa 5 Minuten anhaltende Siedhitze genügt bereits zu ihrer Tödtung (PRAZMOWSKI l. c.).

Mit dem *Bac. butyricus* lassen sich ferner leicht intensive Gährungserscheinungen hervorrufen. In Lösungen von Stärke, Dextrin und Zucker entsteht nach wenigen Tagen unter dem Einfluss des *Bac. butyricus* eine erhebliche Menge Buttersäure unter gleichzeitiger Entwicklung von Kohlensäure und Wasserstoff. Die Gefässe mit Nährlösungen, in denen die Gährungsversuche angestellt werden sollen, werden am besten luftdicht verschlossen und vor der Einsaat der Bacillen möglichst von Luft befreit; der starke Druck, den die sich ansammelnden Gase nach einiger Zeit ausüben, stört die Entwicklung des *Bacillus* und den Fortgang der Gährung durchaus nicht. Derselbe *Bacillus* ist als Ursache der in alter Milch und beim Reifen des Käses auftretenden Buttersäuregährung anzusehen; in der Milch beginnt diese Gährung erst, nachdem eine lebhaft Vegetation von Milchsäurebakterien einen grossen Theil des Milchzuckers in



Milchsäure verwandelt und dabei die Flüssigkeit von Sauerstoff befreit hat. — Auch die Zerlegung des Glycerins in Buttersäure, Aethylalkohol etc. (FITZ) ist vermuthlich auf die Einwirkung dieses Bacillus zurückzuführen. Ferner ist es wahrscheinlich, dass die Zersetzung der Cellulose durch denselben Bacillus erfolgt, und dass dieser dadurch eine gewisse technische Bedeutung, z. B. für die Flachsbereitung, und vielleicht auch eine physiologische Bedeutung für die Verdauung der Cellulose durch Pflanzenfresser erhält. (Diese Cellulose zerstörende Eigenschaft wurde von VAN TIEGHEM einem besonderen Bacillus amylobacter zugeschrieben, den aber derselbe Autor später als identisch mit dem von PASTEUR als Bac. subtilis beschriebenen Buttersäureferment erklärte).<sup>1)</sup>

Eigenthümlich ist die dem Bac. butyricus unter gewissen Bedingungen zukommende Eigenschaft, eine mit Jod sich blau bis schwarz-violett färbende Verbindung im Plasma auftreten zu lassen. Diese Eigenschaft ist am leichtesten zu beobachten, wenn der Bacillus in stärkehaltigem Substrat cultivirt wird; aber auch wenn Stärke fehlt und statt dessen Cellulose, oder milchsaurer Kalk, oder Glycerin zugegen ist, tritt die Färbung ein; in dextrin- und zuckerhaltigen Nährlösungen scheint sie selten vorzukommen. Junge Stäbchen färben sich rein blau, ältere dunkelviolet; bei einigen werden nur einzelne Querzonen blau, andere Stäbchen werden in continuo gefärbt. (Vgl. unter Leptothrix.)

Auch der Bac. butyricus ist ausserordentlich verbreitet und leicht aus verschiedenen faulenden Pflanzenaufgüssen, aus Heustaub, aus Käse zu erhalten. Ferner findet er sich in den Zellen milchsaftführender Pflanzen.

Es ist noch eine grössere Reihe anderer möglicherweise zymogener, zum Theil auch sehr verbreiteter Bacillen bekannt, deren morphologische Charaktere oder physiologische Wirkungen aber nicht so sorgfältig erforscht sind, wie bei den vorstehenden Arten. Folgende seien hier kurz erwähnt:

Bacillus Ulna. Zellen 1,5—2,2  $\mu$  breit, 3—12  $\mu$  lang; zuweilen granulirter Inhalt. Cultivirbar auf gekochtem Hühnereiweiss; auf der Oberfläche bildet sich schliesslich ein dickes trockenes Häutchen, das aus langen in einander verfilzten Bündeln von Scheinfäden besteht. In diesen bilden sich die Sporen, die 2,5—2,8  $\mu$  lang und über 1  $\mu$  breit sind. — Eine Gährwirkung dieses Bacillus ist nicht bekannt; das Eiweiss, auf dem er wächst, scheint kaum merkbar alterirt zu werden.

Bacillus (Clostridium) Polymyxa. In Grösse, Gestalt und Entwicklung dem Bac. butyricus ganz ähnlich, in dessen Begleitung er

1) Compt. rend. Vol. 89, p. 7. — Vgl. übrigens unter Spirillum Rugula.

vorkommt. Nur findet man bei dieser von PRAZMOWSKI (l. c.) unterschiedenen Gattung eigenthümliche, schlauchartig erweiterte und wellig gebogene Fäden ohne jede Gliederung; sie zerfallen später in kürzere Glieder, in denen sich dann Sporen ausbilden. Ausserdem aber bedarf *Bac. Polymyxa* des freien Sauerstoffs zum Wachsthum und zur Sporenbildung; alsdann äussert derselbe keine besonderen Fermentwirkungen. Wird aber der Sauerstoffzutritt behindert, so veranlasst der *Bacillus* eine intensive Gährung, deren Qualität noch nicht bekannt ist.

*Bacillus tremulus*. Kürzer und dünner wie *Bac. subtilis*; an beiden Enden mit einer Geissel. Macht eigenthümlich zitternd rotirende Bewegungen. Die Spore wird dicker als der Bacillenkörper, quillt blasenartig aus dem *Bacillus* hervor; die ausgewachsene Spore erscheint gewöhnlich seitenständig. Bei üppigem Wachsthum sieht man 2—3 vollständig entwickelte und einige verkümmerte Sporen. — Von KOCH auf faulenden Pflanzenaufgüssen beobachtet, auf denen er eine dicke schleimige Haut bildet.

(Andere Bacillen s. in KOCH's Photogrammen, COHN's Beiträge, 2. Bd., 3. Heft, Tafel 15; und Mitth. a. d. Gesundheitsamt, Fig. 44—48, 73—76.)

#### *b) Pigmentbildende Bacillen.*

*Bacillus ruber*. Lebhaft bewegliche Stäbchen, isolirt oder zu 2 u. 4 aneinanderhängend; in einigen 2—4 stärker lichtbrechende Körnchen. Verursachte auf gekochtem Reis eine mennig- bis ziegelrothe Färbung (FRANK).<sup>1)</sup>

*Bacillus erythrosporus*. Bewegliche kurze dünne Stäbchen, zum Theil Fäden bildend; in denselben zahlreiche ovale schmutzigrothe Sporen. Bildet auf Fleischextractlösung, auf faulender Eiweissflüssigkeit kleine schwimmende Schüttelchen oder zusammenhängende Häutchen.<sup>2)</sup>

*Bacillus* der blauen Milch (*Bacterium syncyanum*). Das Blauwerden der Milch tritt stets unter reichlicher Bakterienentwicklung auf; die Färbung entsteht, nachdem die Säuerung der Milch vorgeschritten, aber noch nicht bis zur vollständigen Gerinnung gediehen ist. Oertliche und zeitliche Schwankungen lassen sich bei dieser Infection ähnlich wie bei Epidemien beobachten; starke Luftfeuchtigkeit scheint begünstigend zu wirken, während der Temperatur, dem Licht etc. keine besondere Bedeutung zuzukommen scheint. Die pigmentbildenden Spaltpilze lassen sich auf andere Milch mit Erfolg übertragen; ebenso kann man in einer Nährlösung von milchsaurem Ammoniak die Spaltpilze und den Farbstoff züchten (NEELSEN). — Die morphologischen Charaktere der den Farbstoff producirenden Bakterienart sind

1) COHN's Beiträge, Bd. I, Heft 3, S. 181.

2) COHN u. MIFLET, COHN's Beiträge, Bd. III, Heft 1, S. 128.

noch nicht genügend festgestellt. NEELSEN beschreibt die specifischen Organismen als lebhaft bewegliche Stäbchen, die nach der Theilung leicht mit einander verbunden bleiben und Ketten bilden; ihre Länge beträgt 2,5—3,5  $\mu$ , die der Doppelstäbchen 5,5—6  $\mu$ .<sup>1)</sup>

Diese Bacillen sollen nach NEELSEN unter Umständen in Ketten von biscuitförmigen Zellen übergehen, welche Gonidien repräsentiren; unter anderen Verhältnissen sollen sie in längere Bacillen oder auch in eine Kokkenform sich verwandeln. Die zu diesen Annahmen veranlassenden Beobachtungen sind aber nicht an Reinculturen gemacht, und andererseits sind die unzweifelhaft gleichzeitig vorhanden gewesenen Bakterien der Milchsäuregährung etc. nicht genügend berücksichtigt. Eine genaue Differenzirung der in der Milch sowohl unter normalen wie unter abnormen Verhältnissen auftretenden Bakterienformen muss späteren Forschungen vorbehalten bleiben.

### c) *Pathogene Bacillen.*

*Bacillus anthracis* (Bactéridie du charbon). Stäbchen von 5—20  $\mu$  Länge und 1,0—1,25  $\mu$  Breite, die sich theilen, nachdem sie bis etwa zur doppelten Länge ausgewachsen sind. Häufig findet man Bacillen mit einer beginnenden Quertheilung in ihrer Mitte; manche sind an dieser Stelle geknickt oder hängen unter einem Winkel lose zusammen. — Die Stäbchen erscheinen etwas anders in Präparaten, welche durch Eintrocknen einer dünnen Schicht des Blutes der Milzpulpa etc. und nachfolgendes Färben hergestellt sind. Die Bacillenketten sind dann deutlich gegliedert; die einzelnen Bacillen erscheinen in Länge und Breite nicht verändert, aber an den Enden abgestutzt, nicht abgerundet; die Glieder sind nicht durch eine einfache Querlinie geschieden, sondern die helle Trennungslinie besitzt in der Mitte eine kleine Anschwellung und die Verbindungsstelle zwischen 2 Gliedern zeigt somit eine schwache knotenförmige Verdickung. — Geisseln lassen sich nicht bemerken; die Stäbchen werden auch stets ohne Bewegung gefunden. Sie gehören nach PASTEUR zu den Aërobieu.

Auf geeignetem Nährsubstrat und bei circa 36° wachsen die Bacillen zu langen Fäden aus, welche vielfach gewunden sein können und oft die hundertfache Länge und mehr der ursprünglichen Bacillen erreichen. In denselben treten nach einiger Zeit kleine, stärker lichtbrechende Körnchen in regelmässigen Abständen auf, und diese werden zu den länglich runden Sporen, während die Fäden allmählich aufgelöst werden. Jede Spore ist von eiförmiger Gestalt und

1) NEELSEN, COHN's Beiträge. Bd. III, Heft 2.

in eine kugelige, glashelle Masse eingebettet. Bei der Keimung der Sporen verliert diese Masse zuerst ihre Kugelgestalt, und der Keimschlauch wächst in der Richtung der Längsachse der Spore hervor;



Fig. 45 a.

Milzbrandbacillen. (Nach KOCH.) 650 : 1.

A. Aus dem Blut eines Meerschweinchens.

B. Aus der Milz einer Maus nach 3 stündiger Cultur in humor aqueus.

letztere bleibt anfangs noch an dem einen Ende des jungen Stäbchens hängen.

Die Milzbrandbacillen sind leicht auf künstlichem Nährsubstrat zu züchten: auf Kartoffelscheiben, auf Gelatine, auf amylnhaltigen

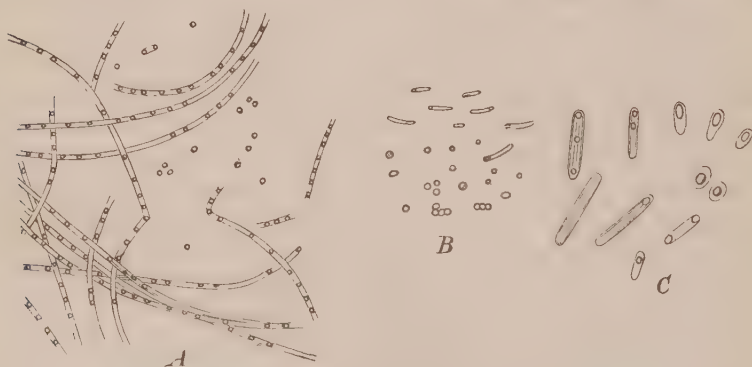


Fig. 45 b.

Milzbrandbacillen; Sporenbildung und Sporenkeimung. (Nach KOCH.)

A. Aus der Milz einer Maus nach 24 stündiger Cultur in humor aqueus. Perlschnurartig gereichte Sporen in den Fäden. 650 : 1.

B. Keimung der Sporen. 650 : 1:

C. Dieselbe bei starker Vergrößerung. 1650 : 1.

Pflanzensamen, auf saftreichen Wurzeln; ferner lassen sie sich in alkalischem Harn, in neutralisirtem Heuinfus cultiviren und bei geeigneter Temperatur auch zur Sporenbildung bringen. Sie gedeihen



vorzüglich im Blut des thierischen, lebenden Körpers; und ihre Entwicklung ist dann die Ursache der Milzbrandkrankheit. Ein ganz besonderes Interesse haftet den Milzbrandbacillen deshalb an, weil sie den ersten Fall repräsentiren, in dem mit Sicherheit eine auch beim Menschen vorkommende Infectionskrankheit auf einen pflanzlichen Mikroparasiten zurückgeführt werden konnte; ferner weil diese Krankheit so leicht auf verschiedene Thiere übertragbar und dadurch experimentellen Studien zugänglich ist. Die kleinste Spur einer Cultur von Milzbrandbacillen, auf Mäuse, Kaninchen, Meerschweinchen, Igel, Sperlinge, Schafe, Rinder, Pferde überimpft, führt die Erkrankung resp. den Tod an Milzbrand herbei, der z. B. bei Mäusen nach etwa 20, bei Kaninchen nach 42 Stunden eintritt. Bei den getödteten Thieren finden sich die Bacillen in grössten Massen in der angeschwollenen Milz, ferner überall im Capillargefässsystem, namentlich in Lunge, Leber, Niere, Darm; in den grossen Gefässen sind dagegen oft nur vereinzelte Bacillen anzutreffen. — Gewisse Racen von Hammeln (algierische) und weisse Ratten scheinen relativ immun gegen Milzbrand zu sein.

Im Körper des lebenden Thieres vermehren sich die Bacillen nur durch Quertheilung und bilden niemals Sporen. Diese entstehen erst in todttem Nährsubstrat, aber auch nur unter bestimmten Bedingungen, unter welchen eine geeignete Temperatur am wichtigsten ist. Die obere Temperaturgrenze liegt etwa bei  $43^{\circ}$ ; die untere bei  $12-18^{\circ}$ ; unter  $12^{\circ}$  scheint Wachsthum der Fäden oder Sporenbildung nicht mehr stattzufinden. Sind daher Milzbrandcadaver tief in den Boden verscharrt, wo — in unseren Breitengraden — eine unter  $12^{\circ}$  liegende constante Temperatur herrscht, so kommt es nicht zur Sporenbildung, und die Bacillen selbst gehen bald, ohne in die Dauerform übergeführt zu sein, zu Grunde. PASTEUR's Behauptung, dass in den verscharrten Cadavern sich die Bacillen oder deren Sporen conserviren und dann aus der Tiefe namentlich durch Regenwürmer an die Bodenoberfläche gebracht würden, ist daher völlig unwahrscheinlich. Vielmehr haben wir die Infection ungefähr in folgender Weise zu denken: Die hier und da seit ältester Zeit verbreiteten Keime können in sumpfigen Gegenden, an Flussufern etc. auf passendem pflanzlichen Nährsubstrat sich weiter entwickeln und neue Sporen bilden; diese werden dann namentlich durch Uberschwemmungen und Hochwasser Weideplätzen zugeführt und gelangen so in die Futtermittel. Dieser Verbreitungsweg erklärt dann auch die weitaus am häufigsten beobachtete Infection vom Darm aus (KOCH). — Nach BUCHNER sollte eine allmähliche Umzüchtung

von Heubacillen in Milzbrandbacillen möglich sein; jedoch konnten die von BUCHNER beigebrachten experimentellen Belege für diese Behauptung aufs Entschiedenste widerlegt werden (KOCH); vgl. im folg. Abschnitt.

Bacillus des malignen Oedems, bei Mäusen, Meerschweinchen, Kaninchen beobachtet (*Vibrio septique* PASTEUR's).<sup>1)</sup> Stäbchen von 3,0—3,5  $\mu$  Länge, 1—1,1  $\mu$  Breite; meist liegen zwei an einander und repräsentiren dann die doppelte Länge; häufig trifft man Scheinfäden von 15—40  $\mu$  Länge. Die Fäden erscheinen relativ starr, sind oft gebrochen oder geknickt. In gefärbten Präparaten

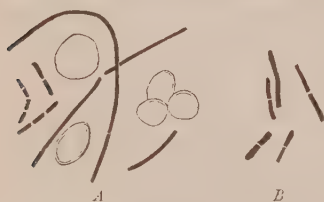


Fig. 46.

Bacillus des malignen Oedems (*Vibrio septique*). (Nach KOCH.) 700 : 1.

A. Aus der Milz eines Meerschweinchens.  
B. Aus der Lunge einer Maus.

haben sie leicht ein etwas körniges Ansehen. Milzbrandbacillen unterscheiden sich von den Oedembacillen durch ihre etwas grössere Breite, ihre abgestutzten Enden und ihre eigenthümliche Gliederung in gefärbten Präparaten. Ausserdem findet man im frischen Milzbrandblut nicht die zahlreichen langen Fäden der Oedembacillen; und ferner sind die Oedembacillen zuweilen — frei-

lich durchaus nicht immer — beweglich, während Milzbrandbacillen stets ohne Bewegung sind. — Die Oedembacillen gehören nach PASTEUR zu den Anaëroben.

Die Oedembacillen resp. ihre Sporen scheinen sehr weit verbreitet zu sein. In den oberen Culturschichten des Erdbodens (Gartenerde), im Heustaub, in faulenden Flüssigkeiten, ferner namentlich in Leichen erstickter Thiere, wenn diese eine Zeitlang bei höherer Temperatur der Zersetzung überlassen waren, finden sich die Bacillen resp. ihre Keime. Aus allen diesen Substraten kann man sie Versuchsthieren mit Erfolg einimpfen. Wird infectiöser Heustaub, Gartenerde etc. einem Meerschweinchen unter die Haut gebracht, so erkrankt es sehr bald und ist nach 24—48 Stunden verendet. Bei der Section findet sich als auffälligstes Symptom ein von der Impfstelle ausgehendes, weit verbreitetes, subcutanes Oedem, mit klarer röthlicher, stark bacillenhaltiger Oedemflüssigkeit und einzelnen Gasbläschen. Die inneren Organe sind wenig verändert, nur die Milz ist meist vergrößert und dunkler gefärbt, und die Lunge hat ein blass-graurothes Colorit. Unmittelbar nach dem Tode findet man im Herzblut keine oder wenig Bacillen, dagegen reichlich in dem

<sup>1)</sup> KOCH, Mitth. a. d. Gesundheitsamt, S. 54. — GAFFKY, ebenda, S. 88. — PASTEUR, Bull. de l'Acad. de méd. 1877, p. 793.

Saft der verschiedensten Organe, ferner namentlich in und auf dem serösen Ueberzug der Organe. (Auch darin besteht ein wichtiger Unterschied gegenüber dem Milzbrand.) Ist einige Zeit nach dem Tode verflossen, so finden sich die Bacillen überall, auch im Herzblut, in grösster Menge; offenbar vermögen sie sich also im todten Körper lebhaft zu vermehren. Bei Mäusen finden sich indess die Bacillen schon unmittelbar nach dem Tode regelmässig im Herzblut und in den Blutgefässen der Organe; hier ist daher eine Verwechslung mit Milzbrand besonders leicht möglich. — Die Weiterimpfung gelingt im Allgemeinen nicht mit so kleinen Mengen Impfmateri- al und nicht mittelst so minimaler Verletzungen wie beim Milzbrand; namentlich muss das Impfmateri- al wirklich ins subcutane Gewebe gebracht und das Corium durchschnitten werden.

Die Cultur der Oedembacillen ausserhalb des Thierkörpers gelingt nur schwierig; nach PASTEUR sollen sie in Blutserum oder auch in neutralisirter Lösung von LIEBIG'schem Fleischextract bei Luftabschluss resp. im kohlensäurehaltigen Raum wachsen. GAFFKY gelang die Züchtung dadurch, dass ein Stückchen bacillenhaltiger Leber in das Innere einer Kartoffel gebracht wurde, welche man sofort wieder mit Kartoffelmasse verschloss und dann bei 38° aufbewahrte. In ähnlicher Weise gelang eine Weiterzüchtung, ohne dass die Virulenz der Bacillen abnahm. Die Culturen scheinen sehr leicht durch den *Bacillus butyricus* verunreinigt zu werden, der ebenfalls bei Sauerstoffabschluss und hoher Temperatur besonders gedeiht. Exacte Beobachtungen über die Sporenbildung der Oedembacillen etc. fehlen daher noch.

Dass PASTEUR's *Vibrio septique* mit dem hier beschriebenen Oedembacillus identisch ist, erscheint nach den gegebenen Abbildungen und der ganzen Beschreibung zweifellos; nur scheint PASTEUR das maligne Oedem meist nicht rein vor Augen gehabt zu haben, sondern entsprechend den faulenden Flüssigkeiten, von denen er ausgegangen ist, stets mit Intoxicationsercheinungen oder mit anderen Formen von Septicämie complicirt.

*Bacillus des Rauschbrands, Bactérie du charbon symptomatique.*<sup>1)</sup> An den Enden abgerundete Stäbchen; meist mit einer glänzenden Spore am einen Pole. Dieselben sind beweglich (im Gegensatz zu den Milzbrandbacillen). Sie werden als Ursache einer Krankheit des Rindviehs angesprochen, die zuweilen endemisch auf-

1) ARLOING, CORNEVIN u. THOMAS, Bull. de l'Acad. de méd. 1881. — BOLLINGER, FESER, Deutsche Zeitschr. f. Thiermedizin. 1878—79. — Vgl. RÖLL, Die Thierseuchen, Wien 1881.

tritt und als „Rauschbrand“ bekannt ist. Man findet bei den gefallenen Thieren die Bacillen regelmässig in dem Unterhautbindegewebe, in den Lymphdrüsen, in Nieren, Milz und Lunge. — Die Krankheit charakterisirt sich anfangs durch Unlust zum Fressen, dann bildet sich an irgend einer Körperstelle ein unregelmässiger Tumor in der Haut, der sich rasch vergrössert und im Centrum ein deutliches Knistern fühlen lässt. Unter abnormem Sinken der Körpertemperatur erfolgt der Tod 36—48 Stunden nach der Infection. Impfung mit den zerquetschten bacillenhaltigen Organen oder mit Substanz des Tumors bewirkt bei Meerschweinchen, Kaninchen, Kälbern, Hammeln regelmässig dieselben Krankheitserscheinungen; weisse Ratten, Hunde, Hühner etc. sind immun. Direct in die Venen injicirt soll das Impfmateriel viel geringere Wirkung äussern als bei der Impfung ins subcutane Gewebe; erst sehr grosse Dosen erzeugen von den Venen aus eine heftigere Erkrankung mit mehrfachen Tumoren; nach geringer Injection entsteht eine abortive Krankheit, die aber für spätere, auch subcutane Impfungen immun macht. Dieselbe prophylaktische Wirkung haben auch minimale subcutan applicirte Dosen des Impfmateriels (ARLOING, CORNEVIN u. THOMAS). — Eine künstliche Züchtung der Bacillen ist bis jetzt noch nicht gelungen, und es bleibt daher eine vollständigere Untersuchung ihres Entwicklungsmodus und ihrer Wirkungen abzuwarten.

Ausser den 3 im Vorstehenden beschriebenen pathogenen Bacillenformen giebt es vermuthlich noch einige andere, die den Milzbrandbacillen ähnlich sind und ähnliche Krankheitserscheinungen hervorrufen; auf ihre Unterscheidung ist in Zukunft besondere Sorgfalt zu verwenden. (Die von KÖHLER beobachtete pathogene Bacillenform scheint mit dem Oedembacillus identisch zu sein.)<sup>1)</sup> Heustaub und Blut im Anfangsstadium der Fäulniss scheinen namentlich häufig Keime solcher dem Milzbrandpilz ähnlicher Bacillen zu enthalten.

Bacillus der Septicämie bei Mäusen (KOCH). Ausserordentlich kleine, 0,8—1,0  $\mu$  lange und 0,1—0,2  $\mu$  dicke Bacillen; oft hängen 2 an einander, selten kommen Ketten von 4 Gliedern vor. Bei weiterer Cultur scheint es nicht zur Fadenbildung, sondern nur zu einer Zusammenlagerung der Bacillen zu dichten Haufen zu kommen. Zuweilen sind Sporen zu beobachten. Eine Eigenbewegung konnte bis jetzt nicht constatirt werden. — Vorzugsweise findet man die Bacillen innerhalb der weissen Blutkörperchen; in diesen vermehren sie sich, und in manchen Fällen sieht man statt der weissen

---

1) F. KÖHLER, Der Heupilz etc. Dissert. Göttingen 1881.



Blutzellen nur noch dichte, an den Rändern zerfallende Bacillenklumpen.

Die Bacillen resp. ihre Keime finden sich häufig in faulenden Flüssigkeiten. Impft man eine Reihe von Mäusen mit einer mini-



Fig. 47.

Bacillen der Septicämie bei Mäusen. (Nach Koch.) 700:1.

A. Blut einer septicämischen Maus. Rothe Blutkörperchen und dazwischen Bacillen.

B. Weisse Blutkörperchen mit Bacillen.

malen Menge beliebiger faulender Flüssigkeiten, so erkrankten fast stets einige an einer Form von Septicämie, die durch die in Rede stehenden Bacillen bedingt ist. Zunächst tritt vermehrte Secretion der Conjunctiva und Verklebung der Augen, Mattigkeit etc. ein; das Thier sitzt dauernd ruhig mit gekrümmtem Rücken und in dieser Stellung tritt, 40—60 Stunden nach der Impfung, fast unmerklich und ohne Krämpfe der Tod ein. (Auch nach dem Tode bleibt die Maus meist in derselben hockenden Stellung, während eine an Milzbrand verendete Maus auf dem Rücken oder auf der Seite, mit ausgestreckten Extremitäten liegt). — Bei der Section findet sich zuweilen geringes Oedem an der Impfstelle, ferner beträchtliche Milzschwellung, ausserdem aber zeigt sich keine Veränderung. Die charakteristischen Bacillen findet man in reichlicher Menge im subcutanen Zellgewebe, in der Umgebung der Impfstelle und von da weit vordringend; ferner im gesammten Blutgefässsystem, sowohl in den grösseren Gefässen wie in den Capillaren sämmtlicher Organe. Die allerminimalste Quantität solchen Blutes genügt zum Weiterimpfen der Krankheit. — Feldmäuse sind gegen diese Septicämie immun; Sperlinge erliegen ihr dagegen wie Hausmäuse. Kaninchen zeigen im Allgemeinen keine Empfänglichkeit; impft man dieselben aber am Ohr, so entsteht ein locales Erysipel von charakteristischem Verlauf; und ferner entsteht auf eine Impfung der Cornea hin ein intensiver Entzündungsprocess am Auge. Diese Affectionen beim Kaninchen sind dadurch noch besonders merkwürdig, weil alle Thiere, welche diese Impfung am Ohr oder auf der Cornea einmal überstanden haben, völlig immun gegenüber jeder neuen Impfung sind.

Die Bacillen lassen sich leicht ausserhalb des Thierkörpers cultiviren; sie wachsen auf Gelatine, die mit Humor aqueus vom Rinde bereitet ist; besonders gut aber auf einer Nährgelatine mit Fleischinfus, 1% Pepton, 0,6% Kochsalz und so viel phosphorsaurem Natron, dass das Gemisch schwach alkalisch reagirt. Auf diesem Nährsubstrat bilden die wachsenden Bacillen sehr charakteristische und leicht erkennbare verästelte Figuren.

---

Anm. Während des Druckes dieser Bogen erfolgte die erste Publikation Koch's über den *Bacillus* der Tuberkulose (Berl. klin. Wochenschr. 1882, No. 15). Dieser so überaus wichtige Fund unseres bedeutendsten Mykologen sei hier in Kürze nachträglich eingeschaltet. — Die Bacillen der Tuberkulose sind 2—4, selten 8  $\mu$  lang, sehr dünn, den Leprabacillen ähnlich, aber etwas schlanker und an den Enden zugespitzt. Oft bilden sie bündelartige Gruppen. Kommen Riesenzellen in den tuberkulösen Bildungen vor, so liegen sie gewöhnlich im Innern dieser. Sie haben keine Eigenbewegung. Zuweilen bilden sie schon innerhalb des Thierkörpers 2—4 Sporen von ovaler Gestalt. — Die Bacillen finden sich bei allen frischen oder im Fortschreiten begriffenen tuberkulösen Processen; sie sind bei Miliartuberkulose, käsiger Bronchitis und Pneumonie des Menschen ebenso constant beobachtet, wie bei der Perlsucht des Rindviehs; ferner konnten sie in den Sputis von Phthisikern erkannt werden. Ihr Nachweis stösst nur deshalb auf Schwierigkeiten, weil sie bezüglich der Färbemethoden sich von anderen Spaltpilzen abweichend verhalten. Auf's Deutlichste sind dagegen die Bacillen zu erkennen, wenn man eine Lösung benutzt von 200 Ccm. destillirtem Wasser, mit 1 Ccm. einer concentrirten alkoholischen Lösung von Methylenblau vermischt, durchgeschüttelt und dann mit 0,2 Ccm. einer 2 procentigen Kalilauge versetzt. In dieser Lösung lässt man die in üblicher Weise vorbereiteten Präparate 20—24, oder wenn man auf dem Wasserbade auf 40° erwärmt, eine halbe bis 1 Stunde. Darauf werden die Präparate mit einer concentrirten filtrirten wässrigen Lösung von Vesuvin übergossen und nach 1—2 Minuten abgespült; alle Zellkerne und alle anderen Bakterien (mit Ausnahme der Leprabacillen) erscheinen dann braun gefärbt, während die Bacillen der Tuberkulose sich tief blau gefärbt abheben. (Vgl. den vierten Abschnitt.)

Die Bacillen lassen sich auch künstlich cultiviren; nur wachsen sie sehr langsam und nur bei einer Temperatur zwischen 30 und 41°. Zu den Culturen eignet sich am besten Gelatine, die mit Serum von Rinds- oder Schafblut präparirt ist; auf diese wird mit grösster Vorsicht etwas bacillenhaltige Substanz gebracht und die Cultur dann bei 37—38° gehalten. Erst nach 8—10 Tagen ist ein Wachsthum der Bacillen wahrnehmbar; es bilden sich kleine trockene Schüppchen, die ganz aus Bacillen bestehen und allmählich sich vergrössern. Gegen die 3.—4. Woche hin tritt ein Stillstand ein, das Wachsthum schreitet nicht weiter fort, und es ist dann die Ueberimpfung eines Schüppchens auf eine neue Gelatine erforderlich. Setzt man diese Culturen längere Zeit von Gelatine zu Gelatine fort, so werden sie darum nicht weniger wirksam; eine relativ

Bei einer grösseren Reihe von Krankheiten sind ausserdem noch Bacillen aufgefunden und als Krankheitsursache verdächtig; jedoch ist die Entwicklungsgeschichte derselben meist noch nicht lückenlos verfolgt, oder es sind ihre Beziehungen zu der fraglichen Krankheit nicht völlig klar gestellt. Aus dieser Gruppe seien folgende Formen erwähnt:

*Bacillus* des erysipelatösen Processes beim Kaninchen. Von KOCH bei einem Erysipel des Ohrs gefunden, welches ein Kaninchen nach einer Injection von aufgeweichtem Mäusekoth befiel. Bacillen von  $3,0\ \mu$  Länge,  $0,3\ \mu$  Dicke; Fäden bis zu  $10\ \mu$  lang. Uebertragung und Cultur der Bacillen wurde nicht versucht.<sup>1)</sup>

*Bacillus* des Erysipelas malignum (Rothlauf, Pneumoenteritis) beim Schwein. Sehr kleiner *Bacillus* (*Bac. minimus*, KLEIN) von  $1\text{--}3\ \mu$  Länge; wachsen in Culturapparaten zu Fäden aus, in denen ovale Sporen von  $0,5\ \mu$  Längsdurchmesser auftreten. Bei dem Rothlauf der Schweine im ausgepressten Gewebssaft der Lungen, im Eiter von Abscessen etc., aber nicht im Blut gefunden (KLEIN).<sup>2)</sup>

*Bacillus* *Leprae* (Lit. 261). Feine schlanke Stäbchen, zuweilen an beiden Enden etwas verjüngt;  $4\text{--}6\ \mu$  lang, unter  $1\ \mu$  breit. Eine Schleimhülle scheint das ganze Stäbchen zu umgeben. Deutliche Eigenbewegung. — Die Bacillen färben sich im Ganzen schwierig; am besten noch mit Fuchsin, ferner mit saurer Eosin-Hämatoxylinmischung. Manche Stäbchen zeigen kugelige Anschwellungen, manche helle, ungefärbte Lücken; ausserdem findet man zuweilen kleine spitzkugelförmige Körner; diese Befunde scheinen auf Sporenbildung zu deuten, die aber noch nicht in lückenloser Folge beobachtet werden konnte. — Die Bacillen kommen constant vor in den Neubildungen der Haut, der Schleimhaut des Mundes, Gaumens und Keh-



Fig. 48.

*Bacillus* *Leprae*. (Nach NEISSER.)  
ZEISS, Oelimm.  $\frac{1}{12}$ , Oc. 4 (950. i).  
A. Bacillen; B. solche mit Lückenbildung;  
C. Zellen aus Lepraknoten mit Bacillen.

geringe Menge der Cultur, auf ein Versuchsthier überimpft, verursachte unfehlbar den Tod desselben an tuberculösen Processen. Am empfänglichsten waren Meerschweinchen und Kaninchen; aber auch Hunde und Katzen konnten inficirt werden. Die Impfung konnte dabei beliebig durch Injection in das subcutane Zellgewebe oder in die Bauchhöhle oder in die vordere Augenkammer oder direct in den Blutstrom erfolgen; nur von oberflächlichen, flachen Wunden aus trat keine Infection ein. — Näheres s. im Original.

1) KOCH, Wundinfectionskrankheiten, Leipzig 1878, S. 63.

2) KLEIN, Report on Infectious Pneumoenteritis of the Pig, im Rep. of the Medic. Off. of the Privy Council 1877—78.

kopfes; in den interstitiellen Processen der peripherischen Nerven, der Cornea und des Knorpels, des Hodens; ferner in Lymphdrüsen, Milz, Leber. In der Haut sind sie namentlich in den circumscripiten Knotenbildungen und in den diffusen Infiltrationen zu finden. Fast durchgängig liegen sie hier im Innern der charakteristischen grossen runden Leprazellen. — Von NEISSER wurden die Bacillen in Blutserum und in alkalischer Fleischextractlösung gezüchtet; jedoch war die Reinheit der Culturen schwer controlirbar, da es keine Versuchsthiere giebt, auf welche Lepra übertragbar ist und durch welche die Virulenz der Culturen erwiesen werden kann. Trotzdem spricht die Constanz der Bacillenfunde und das charakteristische Verhalten der Stäbchen entschieden dafür, dass wir in letzteren den Infectionserreger der Lepra zu suchen haben.

*Bacillus Malariae* (Lit. 263). Von KLEBS ist mit diesem Namen ein *Bacillus* belegt, den derselbe aus schlammiger Erde von Malariaeboden erhalten und in Hausenblasengallerte gezüchtet hatte. KLEBS beschreibt diesen *Bacillus* folgendermassen: „Stäbchen von 2—7  $\mu$



Fig. 49.  
*Bacillus malariae* (?).  
(Nach KLEBS.)

Bacillen aus einer Cultur  
von Schlamm vom Lago di  
Caprolace. ZEISS  $\frac{1}{10}$  Oelimm.  
Oc. 4. (950 : 1.)

Länge, welche zu gewundenen Fäden heranwachsen, die entweder durch Auftreten heller Zwischenräume, seltener von Scheidewänden in ihrem Protoplasma sich gliedern und dann schliesslich an der Luft ausgesetzten Oberflächen Fadenbüschel von kurzen Gliedern bilden, oder Dauersporen in ihrem Innern entwickeln, sei es schon vor der Gliederung oder erst nach derselben. In den

Gliedern entstehen die Dauersporen median oder endständig, oder man findet sowohl mediane wie endständige.“

Diese Bacillen gedeihen auf verschiedenen stickstoffreichen Flüssigkeiten (Leim-, Eiweisslösung, Harn etc.); bei Abschluss des Sauerstoffs entwickelten sie sich nicht weiter, sie gehören daher zu den Aërobien. Auf Kaninchen überimpft, erzeugten sie fieberhafte Erkrankungen, die KLEBS als Malaria anspricht; namentlich in Milz und Knochenmark der gestorbenen Thiere fanden sich reichlich Sporen und Fäden des beschriebenen *Bacillus*. — Später fanden CUBONI u. MARCHIAFAVA<sup>1)</sup> im Blut von Malariakranken zur Zeit des Eintritts des Fiebers bewegliche kurze, meist mit 2 endständigen Sporen versehene Bacillen; in geringerer Zahl fanden sich indess dieselben Bacillen auch bei malariefreien Personen. Die Form dieser Bacillen stimmt mit einigen Abbildungen des KLEBS'schen *Bacillus Malariae* überein, während andere Differenzen zeigen.

Die Morphologie und Entwicklungsgeschichte dieser von KLEBS, CUBONI u. A. beschriebenen Bacillen ist keineswegs vollkommen klar; über die

1) Arch. f. exper. Pathol. Bd. XIII, S. 265. 1881.



Identität der verschiedenen aufgefundenen Formen ist daher kein Urtheil abzugeben. Die Krankheitserscheinungen bei den geimpften Kaninchen sind durchaus nicht sicher als Malariasymptome zu deuten; der häufige Befund von Bacillen im Blut lebender, auch gesunder Menschen widerspricht allen bisherigen Beobachtungen. Einstweilen erscheint daher die Bedeutung des *Bac. Malariae* noch durchaus zweifelhaft, und man wird im Urtheil um so vorsichtiger sein müssen, seit man weiss, dass in den verschiedensten Culturerden sich pathogene Bacillen (wie die Bacillen des malignen Oedems) von noch unbekannter Mannigfaltigkeit finden.

Beim Typhus abdominalis fand EBERTH (Lit. 280) unter 23 untersuchten Fällen 12 mal, später unter 17 Fällen 6 mal in Lymphdrüsen und Milz kurze Stäbchen, an den Enden leicht abgerundet, verschmälerten Ovoiden gleichend; zuweilen waren Sporen in den Bacillen sichtbar. Letztere unterschieden sich von anderen ähnlichen Spaltpilzen noch besonders dadurch, dass sie mit Methylviolett sich nur sehr schwach färbten.<sup>1)</sup> (Ueber die Mikrokokkenfunde von KLEIN, SOKOLOFF, FISCHEL u. A. s. bei EBERTH).



Fig. 50.

*Bacillus typhosus* (?). (Nach EBERTH.)  
A. Aus einer ileocöcalen Lymphdrüse. (a) Lymphkörper.  
B. Isolierte Bacillen mit sporenähnlichen Körperchen. Hartnack 12, Ocul. 3.

Auch KLEBS (Lit. 281) behauptet, constant in den Darminfiltraten, ferner in den Mesenterialdrüsen, in Kehlkopf, Lunge etc. bei an Typhus Gestorbenen Bacillen gefunden zu haben; auf der Höhe der Entwicklung sollen diese über 50  $\mu$  lange und 0,2  $\mu$  breite Fäden zum Theil mit Sporen bilden; ehe sie zu dieser Entwicklung heranreifen, sollen sie auch kürzere Stäbchen bilden, die ebenfalls schon Sporen enthalten können. Diese Bacillen lassen sich nach KLEBS unter günstigen Umständen auf die Darm-schleimhaut des Kaninchens übertragen und entwickeln sich dort zum Fadenmycel. — Ferner hat KLEBS<sup>2)</sup> Bacillen als Contagium der Syphilis bezeichnet. In allen diesen Fällen ist jedoch die Beweisführung in keiner Weise ausreichend, um die Identität der gefundenen Mikroorganismen mit den vermutheten pathogenen darzuthun.

## VII. Gattung, *Leptothrix*.

Lange dünne Fäden, 0,7—1,0  $\mu$  dick, scheinbar ungegliedert, farblos; oft zu dichten Bündeln oder verfilzten Massen vereinigt. Kommen mit Mikrokokken und anderen Spaltpilzen gemengt in der Mundhöhle, im Beleg der Zähne etc. vor und sind dann mit der besonderen Bezeichnung *Leptothrix buccalis* belegt. Charak-

1) EBERTH, Virchow's Archiv. Bd. 83, S. 486.

2) Arch. f. exp. Path. Bd. X. 1879.

teristisch für diese letztere Form ist die Einlagerung der Fäden in dichte Massen von Mikrokokken. Ferner zeigen die Fäden der *Leptothrix buccalis* nach LEBER<sup>1)</sup> eine besondere Reaction: sie färben sich mit Jod und Säure violett; Jod allein bewirkt die Färbung nicht, es muss gleichzeitig Säure zugesetzt werden; aber nicht etwa nothwendig Schwefelsäure (wodurch die Reaction mit derjenigen auf Cellulose Aehnlichkeit gewinnen würde), sondern besser sogar als Schwefelsäure wirken sehr verdünnte Salzsäure, Essigsäure, Milch-



Fig. 51.  
*Leptothrix buccalis*. 500 : 1.

säure. Ist bereits saure Reaction des Mediums vorhanden, so genügt Jodzusatz allein, um die Färbung hervorzurufen. Dabei sind es nicht etwa die Hüllen, die sich färben; diese bleiben vielmehr farblos, und nur der Inhalt wird violett; auch die Septa der Fäden bleiben ungefärbt und treten deshalb deutlich hervor. — Die *Leptothrix buccalis* scheint wesentlich bei der Zahncaries betheiligt zu sein; die Pilzfäden dringen in den Zahn ein, sobald Säuren, wie sie durch die Gährung der Speisereste etc. entstehen, den Schmelz und das Zahnbein der Zähne entkalkt und erweicht haben. — Ausserdem hat man *Leptothrix* in Concrementen der Thränenröhrchen, sowie bei Lungengangrän in den Sputis (TRAUBE, LEYDEN und JAFFÉ) gefunden; und neuerdings hat LEBER nachgewiesen, dass *Leptothrix buccalis*, auf die Hornhaut überimpft, schwere Eiterung erregt, und dass sich dabei sehr feine, lange, gegliederte Fäden und Stäbchenketten entwickeln, welche die charakteristische Jodreaction zeigen.<sup>2)</sup> — (Ueber andere sich mit Jod bläuende Organismen vgl. NOTHNAGEL, Zeitschr. f. klin. Med. III, 278; HANSEN, Botan. Centralbl. 1880, 263.)

*Leptothrix* ist wohl kaum berechtigt, als besondere Gattung unterschieden zu werden, und dürfte bald als solche zu streichen sein. Sie bildet vermuthlich nur eine Entwicklungsform gewisser Bacillen, und man wird den Namen „*Leptothrix*“ zweckmässiger für jede ausgesprochene Fadenbildung irgend eines *Bacillus* beibehalten. — Ob die *Leptothrix*-fäden der Mundhöhle einem einzelnen bestimmten *Bacillus* angehören und welchem — ist zur Zeit noch unentschieden. Manches spricht dafür, dass denselben eine dem *Bacillus butyricus* ähnliche Form zu Grunde

1) LEBER, Berl. klin. Woch. 1867. No. 16. — LEBER u. ROTTENSTEIN, Untersuchungen über die Caries der Zähne. Berlin 1867.

2) LEBER, Arch. f. Ophthalmolog. Bd. 15, S. 338. — Berl. klin. Woch. 1882. No. 11. — TRAUBE, Deutsche Klinik 1853. — LEYDEN u. JAFFÉ, Arch. f. klin. Med. 1866, S. 489.

liegt; der Abschluss des Sauerstoffs, die hohe Temperatur, die schwach saure Reaction, die an den Fundorten der *Leptothrix buccalis* gegeben sind, müssen der Entwicklung eines solchen Bacillus besonders günstig sein. Für diese Verwandtschaft spricht auch die Jodreaction, welche dem *Bacillus butyricus* wie den *Leptothrix*fäden in gleicher Weise zukommt. Jedoch können erst weitere Versuche hierüber sicheren Aufschluss geben.

Einige sonst noch unterschiedene Arten von *Leptothrix* scheinen eher den Algen zuzugehören; so *Leptothrix parasitica*, mit 1  $\mu$  dicken, 100—140  $\mu$  langen Fäden, die meist kraus, undeutlich gegliedert, locker verfilzt und fast farblos sind, und auf Süßwasseralgen parasitiren; ferner *Leptothrix lanugo*, mit 1  $\mu$  dicken und 40—70  $\mu$  langen, ungegliederten, gekräuselten Fäden, die auf Meereralgen vorkommen.

### VIII. Gattung, *Beggiatoa*.

Fäden sehr lang, dicker als bei *Leptothrix*, steif, aber lebhaft schwingend, in Gallerte eingebettet; die Fäden sind farblos, aber enthalten im Protoplasma zahlreiche, stark lichtbrechende Körperchen, die aus Schwefel bestehen. — Bildet kreideweisse oder schleimige Massen, in denen leicht die lebhaft bewegten Fäden erkannt werden. Die Gliederung ist durch die Schwefelkörnchen verdeckt und wird erst sichtbar, wenn letztere in Schwefelkohlenstoff aufgelöst sind. Die *Beggiatoen* leben in stagnirendem Wasser, grösstentheils aber in Schwefelthermen, in welchen sie die im Wasser gelösten Schwefelverbindungen zersetzen und freien Schwefelwasserstoff abscheiden.<sup>1)</sup>

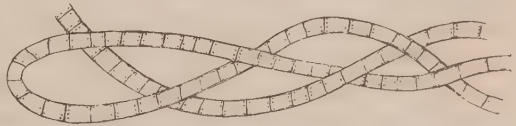


Fig. 52.  
*Beggiatoa pellucida*. (Nach COHN.)

Man unterscheidet mehrere Arten, die hauptsächlich nur durch die Dicke ihrer Fäden differiren. *B. alba*, Fäden 3—3½  $\mu$  dick; *B. nivea*, Fäden 1—1½  $\mu$  dick; *B. leptomitiformis*, Fäden 1,8—2,5  $\mu$  dick; *B. pellucida*, Fäden etwa 5  $\mu$  dick, deutlich gegliedert, mit abgerundeten Enden; *B. mirabilis*, Fäden bis 16  $\mu$  dick, beweglich, verschiedenartig gekrümmt, mit abgerundeten Enden; und einige andere Arten. (Vgl. RAEBENHORST [16].)

### IX. Gattung, *Spirillum* (*Vibrio*).

Kurze, wellig gekrümmte oder spiralig gewundene starre Fäden; beweglich; bei einzelnen ist an jedem Ende eine Geissel beobachtet. Früher unterschied man die Formen mit mehr wellenförmiger Biegung als Gattung *Vibrio* von der Gattung *Spirillum* mit enger gewundener Schraube; doch ist dieser Unterschied kaum durchführ-

1) COHN, Beiträge, Bd. I, Heft 3, S. 173.

bar. — GEDDES und EWART<sup>1)</sup> haben über die Entwicklung und Sporenbildung von Spirillen folgendes beobachtet: Die Spirillen wechseln ab zwischen beweglichem und ruhendem Zustand; schliesslich wachsen sie in einen kleinen Faden ohne bestimmte Windung aus; dieser Faden wird länger und dicker und in ihm treten die Sporen auf. Diese theilen sich rasch und werden glänzend braun, während der Faden wieder beweglich wird und früher oder später aufbricht. Die befreiten Sporen kapseln sich ein und theilen sich in mehrere Kapseln, welche nach einer Ruheperiode selbst beweglich werden; die in ihnen enthaltenen „Sporulae“ schlüpfen aus, keimen in Kommaform und wachsen bald in das gewöhnliche Spirillum aus. — Es muss sehr zweifelhaft erscheinen, ob diese merkwürdige Entwicklung in einer tadellosen Reincultur beobachtet ist.

*Spirillum Rugula* (*Vibrio Rugula*). Zellen 6—16  $\mu$  lang, 0,5—2,5  $\mu$  dick, einfach gebogen oder höchstens mit einer flachen Spiralwindung; zuweilen zu längeren Ketten verbunden, oft zu Schwärmen verfilzt (Fig. 55, a). Beweglich unter lebhafter Rotation um die Längsachse. Von KOCH wurden deutliche Geisseln beobachtet.<sup>2)</sup> Vor der Sporenbildung verdicken sich die Fäden gleichmässig; dann tritt an dem einen Ende eine kugelige Anschwellung hervor, so dass das Stäbchen kommaähnlich aussieht; die Anschwellung wird schliesslich zur kugeligen Spore. — Kommt im Sumpfwasser, im Zahnschleim, in Fäces etc. vor; oft mit dem *Bac. butyricus* zusammen, und daher wahrscheinlich Anaërobium. Nach PRAZMOWSKI bewirkt *Vibrio Rugula* energische Zersetzung der Cellulose.<sup>3)</sup>

*Spirillum serpens* (*Vibrio serpens*). Fäden dünner; 3—4 regelmässige, formbeständige Wellenbiegungen; 11—28  $\mu$  lang, 0,8



Fig. 53.  
Spirillen. 650 : 1.

- A. *Spirillum* (*Vibrio*) *serpens*.  
B. *Spirillum* *tenue*.  
C. *Spirillum* *undula*.

bis 1,1  $\mu$  dick; zuweilen zu Ketten verbunden. Lebhaft beweglich; oft in dichten Schwärmen. — Häufig in verschiedenen stagnirenden Flüssigkeiten.

1) P. GEDDES u. J. C. EWART, Proc. of the Roy. Soc. Vol. 27, p. 481.  
2) KOCH, COHN's Beiträge, II. Bd., S. 416.  
3) PRAZMOWSKI (62), S. 44.



*Spirillum tenue*. Fäden sehr dünn; mindestens  $1\frac{1}{2}$  Schraubenwindungen, meist jedoch 2—5; die Höhe des einzelnen Schraubenganges beträgt 2—3  $\mu$ , die Länge der Spirille daher 4—15  $\mu$ . Blitzartig schnelle Bewegungen. Oft in dichten Schwärmen in Pflanzenaufgüssen.

*Spirillum Undula*. Fäden 1,1—1,4  $\mu$  dick, 8—12  $\mu$  lang; weitere Windungen von 4—5  $\mu$  Höhe. Jeder Faden hat  $1\frac{1}{2}$ —3 Windungen. Rasche, gleichzeitig drehende und schießende Bewegungen; an jedem Ende ist deutlich eine Geißel wahrzunehmen, in Gestalt eines langen, leicht bogenförmig geschwungenen, kräftigen, aber nach dem Ende zu sich verjüngenden Fadens. — In den verschiedensten faulenden Flüssigkeiten.

*Spirillum volutans*. Fäden 1,5—2  $\mu$  dick, 25—30  $\mu$  lang, an den Enden etwas verschmälert und abgerundet, mit dichtem dunkelkörnigen Inhalt. Jeder Faden hat  $2\frac{1}{2}$ —3 $\frac{1}{2}$  Windungen, deren einzelne eine Höhe von 9—13  $\mu$  besitzt. Bald beweglich, bald unbeweglich; an jedem Ende eine deutliche Geißel. — Im Sumpfwasser, in einem Aufguss todter Süßwasserschnellen gefunden.

*Spirillum sanguineum* (*Ophidomonas sanguinea*). Fäden 3  $\mu$  und darüber dick, mit 2—2 $\frac{1}{2}$  Windungen von je 9—12  $\mu$  Höhe. An jedem Ende eine Geißel. Die röthlich schimmernden Spiralen sind durch zahlreiche stark lichtbrechende röthliche Kör-

perchen dunkelkörnig. In faulendem Brackwasser von WARMING und von COHN beobachtet. — In solchem Wasser, das im Herbst an der dänischen Küste in zahlreichen Lachen vorkommt, und in welchem unter gleichzeitigem Auftreten rother Flecken und Massen viele Algen und Salzwasserphanerogamen faulen, fand WARMING noch einige andere Spirillenformen, die meist Schwefelkörnchen im Zellinhalt enthalten und als *Spirillum violaceum*, *Rosenbergii*, *attenuatum* etc. unterschieden werden.<sup>1)</sup>

*Spirillum leucomelaenum*, eine selten vorkommende Art (in Wasser über faulenden Algen beobachtet), die dadurch merkwürdig ist, dass schwarze und glashelle Räume abwechselnd in dem *Spirillum* er-

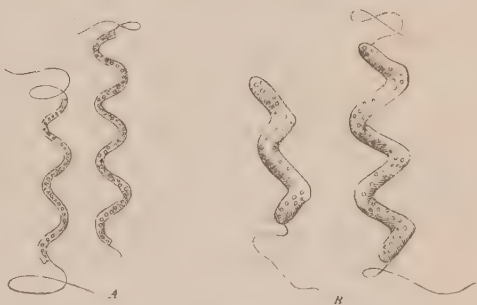


Fig. 54.

Spirillen. (Nach COHN.)

A. *Spirillum volutans*. 650:1.B. *Spirillum sanguineum* (*Ophidomonas sang.*). 600:1.

1) WARMING, Videnskabelige Meddelelser fra den naturhist. Forening i Kjöbenhavn 1875, p. 398. — COHN, Beiträge, Bd. I, Heft 3, S. 169.

scheinen, dadurch bedingt, dass eine im Innern befindliche dunkle, körnige Substanz in regelmässigen Abständen sich anhäuft.<sup>1)</sup>

### X. Gattung, Spirochaete.

Längere und flexilere Fäden als Spirillum, mit enger gewundener Schraube. Bietet im Ganzen wenig prägnante Unterschiede gegenüber der Gattung Spirillum und wäre wohl zweckmässig mit dieser zu vereinigen.

*Spirochaete plicatilis*. Fäden dünn, mit zahlreichen engen Windungen; 110—225  $\mu$  lang. Meist bildet der Faden eine zweifache Wellenlinie; die primären Windungen sind bei allen Exemplaren gleich gross, die secundären sind oft von ungleicher Grösse. Die Enden sind stumpf abgestutzt. Macht ausserordentlich schnelle Bewegungen. — Im Sumpfwasser, in Rinnsteinen etc. im Sommer häufig.<sup>2)</sup>



Fig. 55.  
Spirochaeten.

A. *Vibrio rugula* (a) und *Spirochaete plicatilis* (b). 500 : 1.  
B. *Spirochaete* des Zahnschleims. 500 : 1.  
C. *Spirochaete* Obermeieri. 700 : 1.

*Spirochaete* des Zahnschleims. Viel kürzer als die vorige, meist 10—20  $\mu$  lang; Fäden mit einfacher Wellenlinie, an beiden Enden zugespitzt. — Sehr häufig im Zahnschleim, im Inhalt cariöser Zähne neben *Leptothrix buccalis*.<sup>3)</sup>

*Spirochaete* Obermeieri (Lit. 264 ff.). Fäden etwas länger und dicker als bei *Spirochaete* des Zahnschleims; im übrigen dieser sehr ähnlich. Länge meistens 16—40  $\mu$ ; die Schraubenwindungen sind durchaus gleichförmig. Bewegen sich sehr rasch und zeigen ausserdem Undulationen, die über die Fadenlänge wellig hinlaufen. — Wurden zuerst von OBERMEIER im Blut der Kranken bei *Febris recurrens* beobachtet; die Fäden finden sich ausschliesslich im Blut,

1) KOCH, Mitth. a. d. Gesundheitsamt, S. 48. — PERTY, Zur Kenntniss kleinster Lebensformen, 1852.

2) KOCH, Cohn's Beiträge, Bd. II, S. 420.

3) KOCH, l. c. S. 432.

nie in den Secreten; ferner immer nur während der Fieberanfälle, nicht aber in den freien Intervallen, höchstens noch bis zu 2 Tagen nach dem Fieberabfall. Ihre Anzahl wechselt sehr, ist aber meist sehr bedeutend. Auch ausserhalb des Körpers, in Blutserum und in halbprocentiger Kochsalzlösung behalten die Fäden noch längere Zeit ihre Beweglichkeit. — Die Spirochaeten färben sich gut mit Methylviolett und mit Bismarckbraun, und unter Anwendung dieser Färbemittel auf getrocknete Blutproben lassen sich die Fäden leicht nachweisen. — Spirochaetenhaltiges Blut, Affen eingimpft, bewirkt bei diesen Recurrens; in den Organen der auf der Höhe der Krankheit getödteten Thiere lassen sich innerhalb der Blutgefässe zahlreiche Spirochaeten nachweisen.<sup>1)</sup> Es ist sonach sehr wahrscheinlich, dass die Spirochaeten als Infectionserreger anzusehen sind, obwohl es noch nicht gelungen ist, die Pilze ausserhalb des Thierkörpers zu züchten. Auch die Entwicklungsgeschichte der Spirochaete und ihre Vegetationsform während der Apyrexie sind noch unbekannt (Erklärungsversuche von GUTTMANN, ALBRECHT).<sup>2)</sup>

#### XI. Gattung, Streptothrix und Cladothrix.

*Streptothrix Foersteri* ist von COHN ein fadenförmiger Pilz bezeichnet, der in Concrementen der Thränenkanälchen des menschlichen Auges vorkam. Derselbe bestand aus feinen, farblosen, meist geraden oder auch gewundenen Fäden, die zuweilen, wenn auch selten, deutliche Verzweigungen zeigten. Die Fäden der *Leptothrix buccalis* sind dicker, gerader und steifer, nicht verzweigt, und dadurch von *Streptothrix* unterschieden. Ueber Abstammung und Entwicklung dieser Gattung ist nichts bekannt.<sup>3)</sup>

#### *Cladothrix dichotoma*

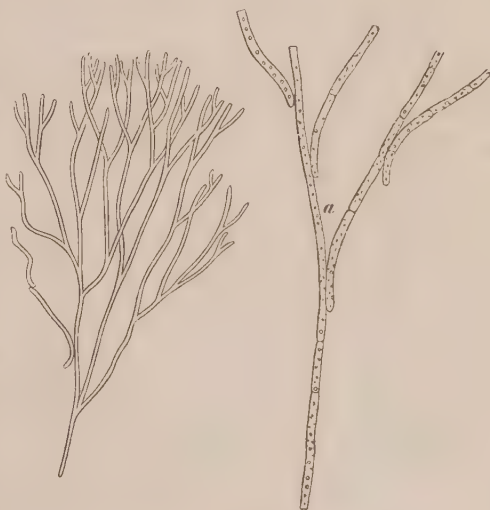


Fig. 56.

*Cladothrix dichotoma*. (Nach COHN.)  
Scheinbar dichotome Fäden (100 : 1); bei α stärker vergrößert (600 : 1), die falschen Dichotomien deutlich erkennbar.

1) CARTER, Deutsche med. Woch. 1879. No. 16, 25. — KOCH, l c.

2) Virch. Arch. Bd. 80. — St. Petersb. med. Woch. 1881. No. 1.

3) COHN, Beiträge, Bd. I, Heft 3, S. 186.

toma.<sup>1)</sup> Fäden  $3,0\ \mu$  dick, wiederholt mit grosser Regelmässigkeit verzweigt. Hier (wie bei Streptothrix) handelt es sich jedoch um falsche Astbildung; der Zweig ist stets nur an den Stamm angelehnt, aber nicht in organischer Verbindung mit demselben. Die Dichotomie entsteht dadurch, dass ein Faden in der Mitte sich in eine obere und in eine untere Hälfte durchfurcht; indem beide Hälften fortwachsen, verlängert sich die untere in unmittelbarer Verlängerung neben der oberen, welche dadurch als scheinbarer Ast an die Seite gedrängt wird. — Bildete auf faulendem Wasser farblose Räschen von  $0,6\ \text{Mm.}$  und darüber.



Fig. 57.  
Myconostoc gregarium. (Nach COHN.) 600:1.  
A. Gallertkugel mit eingelagerten, zusammengerollten Fäden.  
B. Einzelne Fadenstücke.

## XII. Gattung, Myconostoc.

*Myconostoc gregarium*. Fäden sehr dünn, farblos, ungegliedert, aber beim Eintrocknen in kurze cylindrische Glieder zerfallend. Die Fäden sind zu knäuelartigen, aber lockeren Windungen zusammengelagert und von einer durchsichtigen Gallertkugel von  $10-17\ \mu$  um-

schlossen. Die Vermehrung geschieht, ähnlich wie bei *Ascococcus*, mittelst Querfurchung der Gallertkugel. — Wurde in farblosen, auf faulendem Wasser entstandenen Schleimtröpfchen gefunden (COHN<sup>2)</sup>).

Fig. 58.



Fig. 58.  
*Crenothrix polyspora*. (Nach COHN.) 500:1.  
A. Fäden mit Makro- und Mikrogonidien.  
B. Sporangium mit Mikrogonidien.

## Anhang.

*Crenothrix polyspora* (Cr. Kühniana).<sup>3)</sup> Farblose Fäden  $1,5-5\ \mu$  dick, mit nach oben schwach keulenförmig bis zu  $6-9\ \mu$  verdickten Enden; die Fäden sind deutlich gegliedert; die Glieder trennen sich später von einander, sind aber dabei immer noch von einer Scheide umschlossen, die ursprünglich farblos, oft aber durch eingelagertes Eisenoxydhy-

1) COHN, Beiträge, Bd. I, Heft 3, S. 185.

2) COHN, ebenda, S. 183.

3) COHN, ebenda, Bd. II, Heft 1, S. 108. — RABENHORST, Algen Sachsens. — ZOFF, Untersuchungen über *Crenothrix*, 1879.



drat gelb oder gelbbraun gefärbt ist. Schliesslich wird die Scheide von den sich immer weiter theilenden Gliedern zersprengt, diese treten heraus und können dann je einen neuen Faden entwickeln. Unter Umständen bleibt die Scheide geschlossen; die Glieder des Fadens theilen sich durch dichtstehende Querwände in niedrige Scheiben, die dann durch vertikale Theilungen in kleinere kugelige Zellen von 1—6  $\mu$  Durchmesser zerfallen, die als Sporen aufzufassen sind. Diese entwickeln sich oft schon innerhalb der Scheide zu neuen Fäden, welche die gallertartig gequollene Scheide durchwachsen. Häufig verlassen aber auch die Sporen die Scheide, und wachsen nun entweder ausserhalb derselben zu Fäden aus, oder sie bilden durch wiederholte Zweitheilung grössere oder kleinere Colonien von rundlichen Zellen, die durch die gallertartigen Membranen zusammengehalten werden (Palmellenform); jede der Zellen kann schliesslich wieder einen Faden bilden. — Die *Crenothrix* erscheint in weisslichen oder bräunlichen kleinen Rasen in Brunnen- und Drainröhren, kann ein Trinkwasser in erheblichster Weise trüben und verunreinigen und selbst zur Verstopfung engerer Röhren führen.

*Sphaerotilus natans*. Zellen 4—9  $\mu$  lang, 3  $\mu$  dick, rundlicheckig oder länglich; in grosser Zahl reihenweise in einer farblosen Schleimscheide vereinigt zu langen Fäden, die dicht zopfartig verflochten und verwirrt schwimmende Flocken bilden. Vermehrung durch sich isolirende, vegetative Zellen, die durch fortgesetzte Theilung neue Fäden erzeugen. Fortpflanzung durch Sporen, die endogen in den vegetativen Zellen sich bilden. — In stehendem und fliessendem Wasser; die jüngeren Flocken farblos, die älteren gelbbraun; bei der Sporenbildung theils milchweiss, theils roth gefärbt.<sup>1)</sup>

*Spiromonas*. Zellen blattartig flach, um eine ideale Achse der Länge nach gewunden. Vermehrung durch Quertheilung. *Sp. volubilis*; farblos, durchsichtig; schnelle Bewegung unter rascher Drehung um die Längsachse; Länge 15—18  $\mu$ . *Sp. Cohnii*; farblose Zellen nach beiden Enden stark zugespitzt und mit je einer Geissel, mit  $1\frac{1}{4}$  Windungen. Breite der Zelle 1,2—4  $\mu$ . — In stark zersetztem Wasser.<sup>1)</sup>

In stark faulenden wässrigen Flüssigkeiten entwickeln sich häufig neben der S. 109 beschriebenen *Cohnia roseo-persicina* (*Bacterium rubescens* LANKESTER's) eine Reihe von kleinsten Organismen, die wie letztere durch röthliche Farbe ausgezeichnet sind. Sie bilden auf allerhand am Boden des Wassers abgelagertem Detritus rothe Flecken, schwimmen aber zeitweise auch an der Oberfläche; sie gehen in den stärksten Verwesungszuständen nicht zu Grunde, sondern theilnehmen sich vielmehr, wie es scheint, an der Fäulniss. Dieselben

1) Vgl. RABENHORST-WINTER (16).

sind unter dem gemeinsamen Namen der pflanzlichblüthrothen Fäulnisorganismen zusammenzufassen. Da ausserdem in dem Farbstoff kein Chlorophyllsubstrat erkennbar ist (vgl. Cohnia), werden diese Organismen richtiger den Spaltpilzen als den mundlosen Monaden, mit denen sie im übrigen morphologische Aehnlichkeiten darbieten, zuzurechnen sein. Gemeinsam sind ihnen noch dunkle Körnchen, die in die blassrothe Zellsubstanz eingelagert sind und vermuthlich aus Schwefel bestehen (vgl. Beggiatoa); ferner lebhafte, durch Geisseln vermittelte Bewegung. COHN hat folgende Arten unterschieden:<sup>1)</sup>

*Monas vinosa*; kugelige oder ovale Zellen von etwa  $2,5 \mu$  Durchmesser, oft paarweise verbunden. Zellsubstanz blassroth, mit eingelagerten dunklen Körnchen. Lebhafte Schwärmbewegung; Geisseln nicht beobachtet.

*Monas Okenii*; kurz-cylindrische Zellen,  $5 \mu$  breit,  $8-15 \mu$  lang, an den Enden abgerundet, schwach gebogen. Lebhaft beweglich; am einen Ende eine Flimmergeissel, doppelt so lang wie die Zelle. Blassrothe Substanz mit dunklen Körnchen.

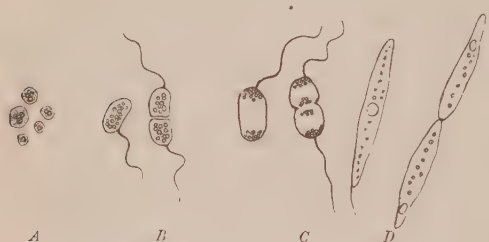


Fig. 59.  
Monaden. (Nach COHN.)  
A. *Monas vinosa*.  
B. *Monas Okenii*.  
C. *Monas Warmin-  
gii*.  
D. *Rhabdomonas rosea*.

*Rhabdomonas rosea*; spindelförmige Zellen,  $3,8-5,0 \mu$  breit, 20 bis  $30 \mu$  lang; langsam zitternde Bewegung; am einen Ende eine Geissel. Sehr blass gefärbte Zellsubstanz mit dunklen Körnchen.

*Monas Warmin-  
gii*; der *Monas Okenii* ähnlich, aber robuster;  $15-20 \mu$  lang,  $8 \mu$  breit;

taumelnde Bewegung; am einen Ende eine Geissel. Die blassrothe Zellsubstanz ist nur an den beiden abgerundeten Enden mit dunkelrothen Körnchen erfüllt.

## II. Lichenes, Flechten.

Die Flechten bilden wie die Pilze Hyphen aus chlorophylllosen, durch Spitzenwachsthum sich verlängernden Zellen, und diese Hyphen lagern sich zu einem meist eigenthümlich geformten Thallus zusam-

1) COHN, Beiträge, Bd. I, Heft 3, S. 162 ff.

men, der bald strauchartig oder laubartig, bald krustig oder staubig erscheint und damit gute Unterscheidungsmerkmale der einzelnen Gattungen bietet. — Ausserdem aber kommt an dem Thallus der Flechten noch ein besonderes charakteristisches Organ vor, nämlich Gonidien. Mit diesem Namen bezeichnet man chlorophyllhaltige, meist runde Zellen, welche die grüne Färbung der Flechten bedingen und die Ernährung der Flechten aus nicht vorgebildeter organischer Substanz ermöglichen. Die Gonidien entsprechen genau verschiedenen Algengattungen. — Die Fructification der Flechten gleicht durchaus derjenigen der Ascomyceten; die Sporen werden in Schläuchen, die Asci in besonderen Fruchtkörpern, den Apothecien, gebildet; ausserdem kommen constant Spermogonien vor. — Neuerdings haben viele Beobachtungen zu der Vermuthung geführt, dass die Flechten keine selbstständigen Organismen sind, sondern nur Algen darstellen, die von Schmarotzerpilzen befallen und verändert sind.<sup>1)</sup>

Eine detaillirtere Aufzählung der einzelnen Flechtengattungen ist hier zu umgehen, da bisher keiner derselben ein besonderes hygienisches Interesse zukommt.

---

### III. Algae, Algen.

Die Algen bestehen sämmtlich aus chlorophyllhaltigen Zellen, nicht aus Hyphen. Man unterscheidet einzellige und mehrzellige Algen; die ersteren haben häufig eine weitgehende Aehnlichkeit mit den Spaltpilzen, ferner mit den Chytridiaceen und Saprolegniaceen (S. 52). Die Vermehrung der einzelligen Algen erfolgt vorzugsweise durch Theilung der Zellen. Die durch Theilung entstandenen Zellen bleiben oft miteinander vereinigt, bilden durch Aufquellen der äusseren Zellmembranschichten eine gemeinsame Gallerte und stellen dann Colonien dar. — Bei den vielzelligen Algen verlängert sich die ursprüngliche Zelle durch Spitzenwachsthum und theilt sich hinter dem fortwachsenden Scheitel durch Querscheidewände, so dass sich Gliederzellen und eine Scheitelzelle unterscheiden lassen. Durch seitliches Auswachsen einer Gliederzelle oder durch Theilung der Scheitelzelle in 2 divergirende Wachstumsrichtungen bilden sich Verzweigungen, und so entstehen Fäden und Zellenkörper.

---

1) SCHWENDENER, Flora 1862—64, 1872. — FAMINTZIN u. BARANETZKY, Botan. Zeit. 1868. — PRINGSHEIM's Jahrbh. Bd. 7. — STAHL, Beiträge zur Entwicklungsgeschichte der Flechten, Leipzig 1877.

Die Fortpflanzung erfolgt ausser durch Theilung auch durch Bildung von Schwärmsporen (Zoosporen, Gonidien), die meist in Mehrzahl in den Mutterzellen entstehen, stets chlorophyllhaltig sind und am vorderen zugespitzten Ende 2 lange Cilien haben; ausserdem aber tritt bei vielen Algen noch eine geschlechtliche Vermehrung auf, und zwar durch Bildung von Zygosporen, oder durch Paarung von Schwärmsporen, oder durch Ausbildung zweier verschiedener Geschlechtsorgane.

Bei manchen einzelligen Algen erscheint der Zellinhalt nicht weiter differenzirt; bei den meisten sind aber verschieden gestaltete Safräume im Protoplasma zu unterscheiden, ferner ein deutlicher Zellkern und andere geformte Bildungen, so namentlich Stärkemehl. Das Chlorophyll ist häufig nur in bestimmten Parteen angeordnet, bald in Form von Platten oder Bändern, bald als sternförmige Körperchen oder Körnchen. Neben dem Chlorophyll kommen oft noch andere Farbstoffe vor; so das Erythrophyll, ein rother Farbstoff; ferner das Phycochrom, welches sich noch weiter in mehrere chemisch differente Farbstoffe (Phycocyan, Phycoxanthin etc.) zerlegen lässt und welches den Algen eine blaugrüne Farbe ertheilt; endlich noch braune Farbstoffe. — Die Zellmembran ist bei den Diatomaceen durch ihren reichen Gehalt an Kieselerde ausgezeichnet. Man theilt die Algen in 9 Ordnungen; von diesen gehören zu den einzelligen Algen: *Phycochromaceae*, *Diatomaceae*, *Conjugatae*, *Palmellaceae*; zu den mehrzelligen: *Siphoneae* (aus einer, aber sehr grossen und die Formen der höheren Pflanzen annehmenden Zelle bestehend), *Confervaceae*, *Fucoideae*, *Characeae*, *Florideae*.

Nur einzelne wenige, den einzelligen Algen zugehörige Arten erfordern hier eine kurze Aufzählung wegen der hochgradigen Uebereinstimmung ihrer Formen mit gewissen Schizomyceten. Die höheren Algen sind dagegen nur ganz ausnahmsweise Objecte hygienischer Untersuchungen; betreffs ihrer detaillirteren Beschreibung muss auf die oben citirten Handbücher verwiesen werden.

1) Die *Phycochromaceen* <sup>1)</sup> sind mikroskopisch kleine blaugrüne Algen mit weicher Zellmembran und homogenem Protoplasma, die in süssem und salzigem Wasser leben. Vermehrung nur durch Zelltheilung. Manche mehr violett gefärbte Arten sind chlorophylllos; diese sind dann eigentlich den Schizomyceten zuzuzählen. Eine derartige Stellung nehmen namentlich folgende Arten ein:

1) COHN's Beiträge, I, Heft 3. — JANCZEWSKI, Ann. des sc. nat. 5. sér., tom. 19. — BARNET & THURET, Notes algologiques, Paris 1876, 1880.



a) *Phycochromaceen*, bei denen die Zellen in Fäden geordnet sind.

*Rivulariaceae*. Fäden am Grunde mit einer kugelrunden, inhaltsleeren Grenzzelle, am oberen Ende peitschenförmig in ein langes dünnes farbloses Haar übergehend. — Gattung *Schizosiphon*. Fäden durch falsche Astbildung verzweigt, von geschichteten, an der Spitze geschlitzten Scheiden umgeben. Röthliche oder grünliche Algen, die krustenartige Lager bilden. — Entspricht *Cladothrix*, *Streptothrix*, S. 139. — *G. Zonotrichia*, Fäden strahlig angeordnet in einem halbkugeligen gallertigen Lager. — *G. Rivularia* (Fig. 60). Meist runde, bräunlichgrüne Algen bis zur Grösse einer Kirsche; Fäden strahlig geordnet in einem runden gallertigen Lager. — (Zu *Myconostoc* S. 140).

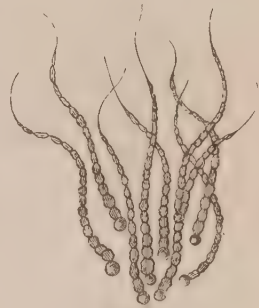


Fig. 60.  
*Rivularia pisum*. 200: 1.

*Scytonemeae*. Fäden stabförmig oder schnurförmig, astlos oder oft mit falscher Astbildung; von gallertigen Scheiden umgeben; Grenzzellen (eigenthümliche Zellen von grösserem Durchmesser, dickeren Membranen, farblosem Inhalt; unfähig zur Theilung) interstitiell in den Fäden. — *G. Scytone-ma*; an den Grenzzellen gehen gewöhnlich beide Fadentheile in paarweise stehende falsche Aeste über. — *G. Calothrix*. Die Aeste eine Strecke weit dem Faden parallel und an ihn angewachsen. — Entsprechen *Cladothrix*, *Streptothrix*, S. 139.

*Nostocaceae*, Gallertalgen. Fäden schnurförmig, ohne Aeste, oft in ein gallertartiges oder mehr flüssig-schleimiges Lager vereinigt. — *G. Anabaena*, Sporenzellen kugelrund, einzeln zwischen 2 Grenzzellen. Schleimige Häute auf Teichen und Gräben; bringt ebenso wie einige andere Arten derselben Ordnung die sog. Wasserblüthe hervor. — *G. Nostoc*, Zitteralge (Fig. 61). Fäden gewunden und verworren, mit Grenzzellen, aber ohne Sporenzellen, in einer homogenen Schleimmasse. Dunkel gefärbte zitternde Massen auf feuchtem Boden und im Wasser. — *G. Hormosiphon*, die Fäden von geschichteten dicken

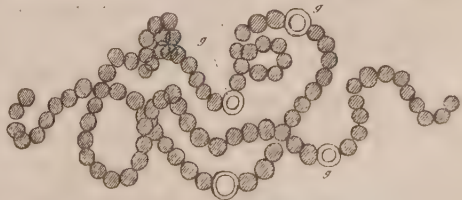


Fig. 61.  
*Nostoc commune*. 600: 1.

\*Scheiden umgeben. — Entsprechen *Myconostoc*, S. 140.

*Oscillariaceae*. Fäden stabförmig cylindrisch, ohne Aeste,

ohne Grenzzellen; oft in schwingender Bewegung, wobei sie aus ihrer gallertigen Scheide hervorkriechen. Bilden meist lockere hautartige Schichten, die oft strahlig auseinanderfahren und wegen ihrer Bewegung früher zu den Thieren gerechnet wurden. — *G. Chamaesiphon*. Fäden an der Basis angewachsen, aufrecht stehend, einzeln; an der Spitze trennen sich die Gliederzellen ab und keimen



Fig. 62.  
*Oscillaria tenuis*.  
A schwach, B stark vergrößert.

dann wie Sporen. — *G. Hypheothrix*. Fäden schichten- oder büschelartig vereinigt, ohne Bewegung. — *G. Oscillaria*, Schwingfaden (Fig. 62). Fäden meist gerade, nicht verwachsen, deutlich gegliedert, mit schwingender Bewegung. Schleimig häutige, grün, blau oder röthlich gefärbte Massen namentlich in Seen, warmen Quellen etc. — *G. Chthonoblastus*, Fäden gerade, bündelweis in einer Scheide. — Vgl. zu diesen Arten *Crenothrix*, *Beggiatoa* etc., S. 140. 135.

b) *Phycochromaceen*, bei denen die Zellen keine Fäden bilden.

*Chroococcaceae*. Zellen meist zu flächen- oder körperförmigen Familien vereinigt; im Wasser oder an feuchten Orten. —

*G. Gloeothecae*. Die länglichen, zerstreut liegenden Zellen von einer gemeinsamen Gallerte, die einzelnen Zellen von blasigen geschichteten Hüllen umgeben. — *G. Aphanothecae*, wie die vorige *G.*, aber die Zellen in homogener Gallerte.



Fig. 63.  
*Gloeocapsa*. 500 : 1.  
Verschiedene Entwicklungszustände einer einfachen Zelle zu mehrzelligen Familien.

— *G. Coccochloris*. Das Gallertlager mehr weniger kugelförmig. — *G. Synechococcus*. Zellen länglich, einzeln oder zu 2—4 reihenweis verbunden, nicht in Gallerte eingebettet, sondern freiliegend. — *G. Gomphosphaeria*, Zellen keilförmig, zu 2—8 zu einem kugelförmigen Familienverbande strahlig geordnet. — *G. Polycystis*. Zellen rund, kugelförmige Familien bildend und diese wieder zu mehreren in ein gestaltloses, hautartiges Lager vereinigt. —

*G. Polycoccus*. Die Familienverbände bilden einen kleinen kugelförmigen Thallus. — *G. Clathrocystis*. Zellen rund, in hohle, oft netzförmig durchbrochene Familien vereinigt. — *G. Coelosphaerium*. Zellen rund, in hohle kugelförmige Familien vereinigt. —

G. *Gloeocapsa*. Zellen rund, in ein gestaltloses gallertiges Lager vereinigt, die einzelnen Zellen in geschichteten, in einander geschachtelten Hüllmembranen (Fig. 63). — G. *Aphanocapsa*, wie die vorige G., aber die Gallerthüllen homogen. — G. *Chroococcus*. Zellen rund, nicht in einem Gallertlager, sondern frei, einzeln oder zu wenigen verbunden. — Vgl. mit diesen Arten *Micrococcus*, *Bacterium*, *Ascococcus*.

2) *Diatomaceae*. Einzellige gelb bis braun gefärbte Algen von symmetrischer Gestalt; die Vermehrung erfolgt durch Theilung in die beiden symmetrischen Hälften mit darauf folgender Neubildung der verloren gegangenen anderen Hälfte. Einzeln lebend oder zu Bändern oder Tafeln verbunden, freischwimmend oder festsitzend. Ausgezeichnet durch die verkieselte Zellmembran, den sog. Kieselpanzer, der ausserordentlich feine Structurverhältnisse zeigt. — Fast in allen Gewässern, namentlich in stagnirenden; überall verbreitet. Ihre Kieselschalen bilden einen grossen Theil der Erde in Ueberschwemmungsgebieten. — Unter ihren 1400 Arten sind *Pleurosigma*, *Navicula*, *Surirella* als mikroskopische Testobjecte am bekanntesten.

3) *Conjugatae*. Einzellige grüne Algen von symmetrischer Gestalt ohne Spitzenwachsthum. Jedes Individuum durch Zelltheilung sich vermehrend; Fortpflanzung durch Conjugation mit Bildung von Zygosporen. — Freischwimmende Algen in stehenden Gewässern. 500 Arten.

4) *Palmellaceae*. Mikroskopisch kleine einzellige Algen, den *Chroococcaceen* (S. 146) und Spaltpilzen in einigen Beziehungen analog. Enthalten Chlorophyll, seltener Erythrophyll, leben einzeln oder bilden gallertige Massen. Sie sind von runder bis länglicher Gestalt, nicht symmetrisch zweihälftig. Die Vermehrung erfolgt durch Zelltheilung oder durch freie Zellbildung, bei welcher Schwärmsporen erzeugt werden. 3 Familien. a) *Volvocineae*. Die Individuen sind zu schwärmenden Familien vereinigt; die runden oder länglichen Zellen besitzen bewegliche Cilien, welche durch die Haut der Zelle und aus der Gallerthülle der Familie frei hervorgestreckt sind; durch die Schwingungen derselben schwärmt die ganze Familie stetig kreisend und fortschreitend im Wasser umher. Bei *Volvox* kugelförmige Familien, 0,075—0,75 Mm. im Durchmesser; erfüllen oft in grossen Massen stagnirendes Wasser und färben dasselbe grün. b) *Proto-coccaceae*. Individuen einzeln oder in Familien vereinigt; Zellen von kugelförmiger oder schlauchförmiger Gestalt. Die Familien kommen entweder durch Zelltheilung einer ursprünglich einzelnen Zelle zu Stande, oder durch Schwärmsporen, die sich zu sog. Coenobien verketteten. Dahin gehören *Hydrodictyon*, Wassernetz; cylindrische Zellen zu einem fünfeckigen Maschennetz verbunden. — *Chlamydococcus*. Die runden, einzelnen Zellen mittelst zweier Wimpern

schwärmend. *Ch. pluvialis*, bildet braunrothe Ueberzüge auf Steinen etc.; erscheint zuweilen plötzlich nach Regen (Blutregen). — *Ch. nivalis* bildet den rothen Schnee auf den Schneefeldern der Alpen und der Polarländer. — *Chlamidomonas*, der vorigen ähnlich; färben oft stehende Wässer und das Seewasser an den Küsten grün; eine andere Art färbt zuweilen die Oberfläche des Meeres roth. — *Chlorococcum*. Zellen rund, nicht schwärmend, Schwärmsporen durch wiederholte Theilung des Inhalts erzeugend. Grüne oder röthliche Häutchen z. B. in destillirtem Wasser etc.

c) *Palmelleae*. Einzelne oder zu ruhenden Familien vereinigte grüne oder rothe Zellen; Vermehrung durch Zelltheilung, selten durch Schwärmsporen. Bei der Theilung zerfällt die Zelle in zwei gleiche Hälften, welche sogleich Gestalt und Grösse der Mutterzellen annehmen und auseinanderrücken, indem die zwischen ihnen entstandene Scheidewand gallertartig aufquillt; die Theilung geschieht meist abwechselnd in 2 oder 3 verschiedenen Raumrichtungen. Dahin gehören: *Gloeocystis*; Zelltheilung in 3 Richtungen; jede Familie von dicken geschichteten gallertartigen Hüllen umgeben (entspricht *Gloeocapsa*, S. 146). — *Gloeococcus*, Zellen eiförmig; structurlose Gallerte. — *Palmella*, Zelltheilung in allen Richtungen des Raumes; runde Zellen, grün oder orangefarben; durch structurlose Gallerte zu Familien verbunden. Die kleinsten farblosen oder rein rothen Arten



Fig. 64.

*Pleurococcus vulgaris*.

A. Familie aus mehreren Zellen.

B. Einzelne getheilte Zelle.

C. Vier sich trennende Tochterzellen.

werden als *Zoogloea* bei den Spaltpilzen beschrieben. — *Pleurococcus* (Fig. 64). Zellen rund; Familien nicht in Gallerte eingebettet; roth oder grün gefärbter Inhalt. Im Wasser und Ueberzüge an Baumstämmen und feuchten Mauern etc. bildend. Der PRIESTLEY'sche Urschleim besteht der Hauptsache nach aus *Pleurococcus* und *Chlorococcum*. — Manche der letztgenannten Arten sind viel-

leicht den *Schizomyceten* zuzurechnen.

Die mehrzelligen Algen können keiner Verwechslung mit niederen Pilzen unterliegen, und bedürfen daher hier keiner specielleren Erwähnung.

Es ist bereits oben (S. 143) darauf hingewiesen, dass manche niedere Algen und zahlreiche *Schizomyceten* so viele gemeinsame morphologische Merkmale haben, dass es als das Einfachste erscheinen muss, sie zu einer natürlichen Gruppe zu vereinigen. Was beide scheidet, ist nur das Vorhandensein oder Fehlen des *Chlorophylls*; aber darauf legt



man mit Recht neuerdings bedeutend weniger Gewicht als früher. Auch unter den Phanerogamen giebt es manche chlorophylllose Pflanzen, die man deshalb nicht aus den Familien oder Ordnungen streicht, zu denen sie ihren morphologischen Merkmalen nach gehören (so die chlorophylllosen Orchideen, die Monotropeen, Cuscuten etc.). Ebenso erweisen sich bei den Thallophyten die morphologischen Merkmale als die zur Beurtheilung der natürlichen Verwandtschaft geeignetsten Charaktere, und vielfach giebt es chlorophyllführende und chlorophylllose Thallophyten, welche die auffallendsten morphologischen Aehnlichkeiten zeigen.

COHN hat dementsprechend die Schizomyceten und die morphologisch zugehörigen niederen Algen in einem System vereinigt, das vielleicht noch in mancher Beziehung Veränderungen erfahren wird, aber doch völlig ausreicht, um einstweilen die verwandtschaftlichen Beziehungen, auf die es hier ankommt, ins Licht zu stellen. Es ist zu wünschen, dass dasselbe, eventuell mit einigen Aenderungen, demnächst den systematischen Beschreibungen der Mikroorganismen zu Grunde gelegt werde. Dies System (in welches übrigens die starren mundlosen Monaden nicht mit aufgenommen sind) ist das folgende:

### Schizophytae.

Einzellige Thallophyten, welche durch Spaltung, zum Theil auch durch endogene Brutzellen sich vermehren.

#### Tribus I. Gloeogenae.

Zellen frei oder durch Intercellularsubstanz zu Schleimfamilien verbunden.

##### A. Zellen frei oder binär oder quaternär verbunden.

- |                              |                          |
|------------------------------|--------------------------|
| Zellen kugelig . . . . .     | Chroococcus. (S. 146).   |
| Zellen cylindrisch . . . . . | Synechococcus. (S. 146). |

##### B. Zellen im Ruhezustand zu amorphen Schleimfamilien vereinigt.

###### a) Die Zellmembranen mit der Intercellularsubstanz zusammenfliessend.

###### 1) Zellen nicht phycochromhaltig, sehr klein.

- |                              |                       |
|------------------------------|-----------------------|
| Zellen kugelig . . . . .     | Micrococcus. (S. 96). |
| Zellen cylindrisch . . . . . | Bacterium. (S. 110).  |

###### 2) Zellen phycochromhaltig, grösser.

- |                              |                        |
|------------------------------|------------------------|
| Zellen kugelig . . . . .     | Aphanocapsa. (S. 146). |
| Zellen cylindrisch . . . . . | Aphanothece. (S. 146). |

###### b) Intercellularsubstanz aus in einander geschachtelten Zellhäuten gebildet.

- |                              |                       |
|------------------------------|-----------------------|
| Zellen kugelig . . . . .     | Gloeocapsa. (S. 146). |
| Zellen cylindrisch . . . . . | Gloeothece. (S. 146). |

##### C. Zellen zu begrenzten Schleimfamilien vereinigt.

###### c) Zellfamilien einschichtig, in eine Zellfläche gelagert.

###### 1) Zellen quaternär geordnet, in einer

- |                 |  |
|-----------------|--|
| Ebene . . . . . | Merismopedia (zu den<br>Chroococcaceae, S. 146). |
|-----------------|--|

- 2) Zellen ungeordnet, in eine Kugelfläche gelagert.  
Zellen kugelig; Familien netzförmig durchbrochen . . . . . Clathrocystis. (S. 109).  
Zellen cylindrisch keilförmig, Familien durch Furchung getheilt . . . Coelosphaerium. (S. 146).
- d) Zellfamilien mehrschichtig, zu sphäroidischen Zellkörpern vereinigt.
- 1) Zellenzahl bestimmt.  
Zellen kugelig, quaternär geordnet, farblos . . . . . Sarcina. (S. 108).  
Zellen cylindrisch keilförmig, ungeordnet, phycochromhaltig . . . Gomphosphaeria. (S. 146).
- 2) Zellenzahl unbestimmt, sehr gross.  
Zellen farblos, sehr klein . . . . . Ascococcus. (S. 108).  
Zellen phycochromhaltig, grösser . Polycystis. (S. 146).  
Coccochloris. (S. 146).  
Polycoccus. (S. 146).

**Tribus II. Nematogenae.**

Zellen in Fäden geordnet.

A. Zellfäden stets unverzweigt.

- a) Zellfäden frei oder verfilzt.
- 1) Fäden cylindrisch, farblos, undeutlich gegliedert.  
Fäden sehr dünn, kurz . . . . . Bacillus. (S. 116).  
Fäden sehr dünn, lang . . . . . Leptothrix. (S. 133).  
Fäden stärker, lang . . . . . Beggiatoa. (S. 135).
  - 2) Fäden cylindrisch, phycochromhaltig, deutlich gegliedert, Fortpflanzungszellen nicht bekannt . . . . . Hypheothrix. (S. 146).  
Oscillaria. (S. 146).
  - 3) Fäden cylindrisch, gegliedert, Gonidien bildend.  
Fäden farblos . . . . . Crenothrix. (S. 140).  
Fäden phycochromhaltig . . . . . Chamaesiphon. (S. 146).
  - 4) Fäden schraubenförmig, ohne Phycochrom.  
Fäden kurz, schwach wellig . . . . . Vibrio. (S. 135).  
Fäden kurz, spiralig, starr . . . . . Spirillum. (S. 135).  
Fäden lang, spiralig, flexil, phycochromhaltig . . . . . Spirochaete. (S. 138).  
Fäden lang, spiralig, flexil . . . . . Spirulina. (Oscillariaceae, S. 146).
  - 5) Fäden rosenkranzförmig.  
Fäden ohne Phycochrom . . . . . Streptococcus. (S. 95).  
Fäden phycochromhaltig . . . . . Anabaena. (S. 145).  
Spermosira. (Nostocaceae, S. 145).
- Fäden peitschenförmig nach der Spitze verjüngt . . . . . Mastigothrix. (Rivulariaceae, S. 145).
- b) Zellfäden durch Intercellularsubstanz zu Schleimfamilien vereinigt.
- 1) Fäden cylindrisch, farblos . . . . . Myconostoc. (S. 140).

- 2) Fäden cylindrisch, phycochromhaltig Chthonoblastus, Limnochlide. (S. 146).
- 3) Fäden rosenkranzförmig . . . . Nostoc, Hormosiphon. (S. 145).
- 4) Fäden peitschenförmig nach der Spitze  
verjüngt . . . . . Rivularia. (S. 145).  
Zonotrichia. (S. 145).

*B. Zellfäden durch falsche Astbildung verzweigt.*

- 1) Fäden cylindrisch, farblos . . . . Cladotrix. (S. 139).  
Streptotrix. (S. 139).
- 2) Fäden cylindrisch, phycochromhaltig Calotrix. (S. 145).  
Scytonema. (S. 145).
- 3) Fäden rosenkranzförmig . . . . Merizomyria.  
Mastigocladus.
- 4) Fäden peitschenförmig nach der Spitze  
verjüngt . . . . . Schizosiphon. (S. 144).  
Geocyclus.

Neuerdings hat man erkannt, dass auch die bisherige Unterscheidung von Algen, Flechten und Pilzen zu Schwierigkeiten führt und gezwungen erscheint; namentlich ist es wiederum das Vorhandensein oder Fehlen des Chlorophylls, das man als Eintheilungsprincip verwirft, und ausserdem sollen nicht ausschliesslich die Fortpflanzungsverhältnisse berücksichtigt werden, sondern auch Merkmale der vegetativen Organe sollen möglichst zu einer natürlichen Ordnung herangezogen werden. Die Flechten sind ferner als selbstständige Classe zu streichen, da sie aus einem Pilz und einer Alge zu bestehen scheinen, auf welch' letzterer der erstere schmarotzt; sie werden daher denjenigen Ordnungen der Pilze angereiht, mit denen sie betreffs ihrer Früchte übereinstimmen, d. h. den Ascomyceten. Nach diesen Gesichtspunkten giebt FRANK<sup>1)</sup> neuerdings folgendes System (im Auszuge):

### Thallophytae.

- I. Myxomycetes. Frei bewegliche chlorophylllose Protoplasma-massen, welche im nackten oder von einer Hülle umgebenen Zustande in zahlreiche Sporen zerfallen.
- II. Schizophytae. Einzellige Pflanzen, welche durch Spaltung, zum Theil auch durch endogene Brutzellen sich vermehren.
  - A. Schizomycetes. Ohne Chlorophyll. B. Phycochromaceae. Mit Chlorophyll, Phycoxanthin und Phycocyan.
- III. Blastomycetes (Sprosspilze). Einzellig; chlorophylllos; vermehren sich durch hefeartige Sprossung, zum Theil durch endogene Brutzellen.
- IV. Zygosporaeae. Einzellig; geschlechtliche Zeugung, wenn vorhanden, durch Conjugation. Keine Zoosporen. Mucorineae, Conjugatae, Diatomaceae.

1) LEUNIS' Synopsis, Botanik, 3. Aufl. Hannover 1882.

V. *Basidiosporeae*. Meist mehrzellig; chlorophylllos. Fortpflanzung durch Basidiosporen; ohne Geschlechtsorgane und ohne Zoosporen. *Entomophthoreae*, *Ustilagineae*, *Aecidiaceae*, *Tremellineae*, *Hymenomycetes*, *Gasteromycetes*.

VI. *Zoosporeae*. Ein- oder mehrzellig. Fortpflanzung durch Zoosporen. Geschlechtliche Zeugung, wenn vorhanden, durch Paarung von Schwärmsporen oder durch differente Geschlechtsorgane.

A. *Leucozoosporeae*. Ohne Chlorophyll. *Chytridiaceae*, *Saprolegniaceae*, *Peronosporae*.

B. *Chlorozoosporeae*. Rein chlorophyllgrün. *Palmellaceae*, *Volvocineae*, *Hydrodictyeae*, *Siphoneae*, *Confervaceae*.

C. *Phaeozoosporeae*. Chlorophyll mit Phycophain und Phycocanthin. *Fucoideae*.

VII. *Carposporeae*. Meist mehrzellig. Geschlechtliche Zeugung, wenn vorhanden, durch differente Geschlechtsorgane, bei denen das Product der Zeugung eine eigenthümliche Frucht mit einer oder vielen Sporen ist. Zoosporen fehlen meist.

A. Ohne Chlorophyll. *Ascomycetes*, *Lichenes*.

B. Rein chlorophyllgrün. *Coleochaeteae*, *Characeae*.

C. Mit Chlorophyll und Phycoerythrin. *Florideae*.

Etwas abweichend ist das System der Pilze (mit Ausschluss der Schizomyceten), zu dem BREFFELD durch seine neueren Untersuchungen gelangt ist. Derselbe findet, dass die niederen wie die höheren Pilze auf gemeinsame und zwar Sporangien tragende Formen zurückzuführen sind. Diese waren wahrscheinlich algenartige, grüne, vielleicht Wasser bewohnende Pflanzen, bei welchen die sexuelle Differenzirung in geschlechtliche und ungeschlechtliche Fruchtformen schon eingetreten war. Die Sexualität hat also ursprünglich bei allen Pilzformen bestanden; bei den Pilzen ist aber theils durch das Eingehen der verschiedenen Früchte, theils durch eine veränderte Entwicklung dieser Früchte oder vielmehr ihrer Sporen ein Geschlechtsverlust eingetreten. Durch weitere Differenzirung und durch Spaltung kann indess auch die Zahl der Fruchtformen vermehrt werden; während andererseits alle Fruchtformen eingehen können. In solchen Fällen eines totalen Fructificationsverlustes bleibt für die Erhaltung der Form nur die vegetative Vermehrung; es entstehen Formen, die nichts besitzen wie Mycelien, die sich zergliedern, oder Sprosscolonien, die zerfallen. Formen dieser Art würden mit dem Fructificationsverlust ihren Charakter verloren haben und in ihren vegetativen Zuständen allein nicht mehr bestimmbar sein; sie würden aber kaum anders beschaffen sein können, als es unter den jetzt lebenden Pilzen z. B. *Oidium lactis*, unter den Blastomyceten *Mycoderma* etc. sind. Diese niederen Pilze können demnach nicht ohne weiteres als selbstständige Formen gedeutet werden; es ist eben so möglich, dass sie durch Reduction im Wege des Fructifications- und Geschlechtsverlustes aus höher differenzirten Formen entstanden sind. Sowohl bei niederen wie bei höheren Pilzen kommen hefeartige Sprossungen und Mycelzergliederungen wie bei *Oidium* vor; und hier ist dann die Deutung, dass z. B. die Sprosspilze reducirte Fadenpilze oder vielmehr reducirte Fadensprosse



der Fadenpilze sind, ebenso wahrscheinlich, wie die umgekehrte Annahme, dass die Fadenpilze höher entwickelte Sprosspilze sind. — Statt dass man die vollkommeneren Formen der jetzt lebenden Pilze aus den einfacheren herleitet, erscheint allgemein die Auffassung mindestens gleichberechtigt, dass die niederen Pilze durch Rückbildung aus höheren Formen hervorgegangen sind.

Für die natürliche Gruppierung der Pilze ist das Sporangium von grösster Bedeutung. Der Ascus ist eigentlich nichts anderes wie ein Sporangium, die Conidienfructificationen sind nichts als rückgebildete Ascen resp. Sporangien. In dem Sporangium liegt daher das verbindende Element nach den niederen Pilzen, in den Conidien der natürliche Anschluss an die höheren Pilze. Bei den niederen Pilzen ist das Sporangium noch vorherrschend, Rückbildungen zu Conidien kommen Anfangs nur vereinzelt vor; diese mehren sich aber bei den Ustilagineen und Entomophthoreen, bei den Ascomyceten besteht das Sporangium meist nur noch in einer Fruchtform fort, bei den Aecidio- und Basidiomyceten ist es endlich gänzlich zu Gunsten der Conidie erloschen. Für die Morphologie der Pilze müssen 3 Gesichtspunkte vorzugsweise berücksichtigt werden: 1) Das Eingehen resp. Zurücktreten der verschiedenen Fruchtformen; 2) das Verschwinden der Sexualität entweder aus den Fruchtformen oder mit diesen; 3) die Rückbildung der Sporangien zu Conidien. So ergibt sich folgende Gruppierung:

A. *Phycomycetes*, Algenpilze. Diese theilen sich in:

1. Classe. *Zygomycetes*. 5 Familien: Mucorineen, Thamnidieen, Choanephoreen, Chaetocladiaceen, Piptocephaliden.
2. Classe. *Oomycetes*. 5 Familien: Chytridiaceen, Saprolegnieen, Peronosporeen, Entomophthoreen, Ustilagineen.

B. *Mycomycetes*, echte Pilze. Dahin gehören:

3. Classe. *Ascomycetes*.
4. Classe. *Aecidiomycetes*.
5. Classe. *Basidiomycetes*.

C. 6. Classe. *Myxomycetes*, Schleimpilze.

Näheres siehe in BREFELD, Untersuchungen über Schimmelpilze, Heft 4.

### DRITTER ABSCHNITT.

## Biologie der Mikroorganismen.

Schon in einer frühen Zeitepoche, wo eingehendere experimentelle Untersuchungen über die Lebesseigentümlichkeiten der Pilze fehlten, und wo man hauptsächlich durch naturphilosophische Speculationen das bereits vorhandene lebhaftes Interesse an der Bedeu-

tung und Lebensweise der Fermentorganismen zu befriedigen suchte, statuirte man für die Classe der Pilze eine bestimmte, sehr wichtige Rolle im Haushalt der Natur, und bemühte sich, die beobachteten Lebenserscheinungen der Pilze mit dieser Rolle in Einklang zu bringen. Durch die zahlreichen experimentellen Untersuchungen der neueren Zeit ist dann diese früher entwickelte Idee zwar in ihren Grundzügen bestätigt, aber im Einzelnen sind erhebliche Abweichungen zu Tage getreten.

Die Ansicht von der teleologischen Function und der Bedeutung der Pilze stützt sich vor allem auf den Chlorophyllmangel derselben und setzt die Pilze somit in einen starken Gegensatz zu den gesammten übrigen durch einen Gehalt an Chlorophyll ausgezeichneten Pflanzen. Während diese letzteren einschliesslich der den Pilzen so nahe stehenden Algen, ihren Bedarf an Kohlenstoff und Stickstoff der Kohlensäure und dem Ammoniak oder der Salpetersäure in ihrer Umgebung entnehmen und aus diesen einfachen Verbindungen die complicirten C- und N-haltigen Stoffe ihres Organismus mit Hülfe des Chlorophylls aufbauen; und während demgemäss für diese Pflanzen die Möglichkeit besteht, z. B. aus Wasser, welches die nöthigen Mineralsubstanzen enthält, und aus  $\text{CO}_2$ - und  $\text{NH}_3$ -haltiger Luft ihr Nährmaterial zu assimiliren, sind die Pilze durch ihren Chlorophyllmangel zu einer derartigen Existenz nicht befähigt, sondern bedürfen vorgebildeter organischer Substanz, um den Verbrauch ihres Körpers zu decken und neue Körpersubstanz zu bilden. Daher können sie nicht in reinem, nur Mineralsubstanzen enthaltenden Wasser existiren; sie vegetiren vielmehr nur auf todtm, N- und C-reichem, organischem Material, namentlich also auf abgestorbenen Pflanzen- und Thierorganismen; oder sie leben als Parasiten, ihren pflanzlichen oder thierischen Wirthen die zum Leben und Wachsthum nöthigen organischen Stoffe entziehend.

Daraus ergiebt sich dann sogleich die Bedeutung der Pilze für den Haushalt der Natur. Um der chlorophyllhaltigen Vegetation stets wieder die nöthigen, einfachen Nährstoffe zuzuführen, bedarf es einer steten Zerlegung und Auflösung der gebildeten Pflanzensubstanz zu jenen einfachen Verbindungen. Die gesammte jährlich entstandene und wieder abgestorbene Vegetation muss in relativ kurzer Zeit so verändert werden, dass aus den complicirten Pflanzenstoffen, dem Eiweiss, den Kohlehydraten, der Cellulose wieder Wasser, Kohlensäure und Ammoniak entsteht; nur unter dieser Bedingung ist eine stetig fortgehende Erneuerung der Vegetation denkbar. Nun fällt zwar ein Theil dieser zerstörenden Arbeit dem thierischen Organismus zu; die

thierische Zelle spaltet die aufgenommenen pflanzlichen Stoffe und überliefert sie der Oxydation. Die Energie, welche in den complicirten chemischen Verbindungen der Pflanze dadurch aufgehäuft war, dass die Pflanze mit Hülfe des Chlorophylls die Arbeit der Lichtstrahlen in chemische Spannkraft umsetzte, wird dabei vom thierischen Organismus verbraucht und zur Wärmeproduction und zu den verschiedenen Leistungen des Körpers benutzt. Aber dieser Consum der pflanzlichen Substanz durch thierische Organismen reicht bei weitem nicht aus, um der ganzen Production pflanzlicher Stoffe das Gleichgewicht und die Menge der einfachen Nährstoffe der Pflanzen auf solcher Höhe zu halten, dass sie für Ernährung und Wachsthum immer neuer Vegetationen ausreichen. Es muss offenbar im Haushalt der Natur noch ein anderer Factor vorhanden sein, durch den eine viel umfangreichere Zerstörung todter pflanzlicher Substanz und eine viel stärkere Bildung von  $\text{CO}_2$  und  $\text{NH}_3$  statthat, als durch den Lebensprocess der Thiere; und es tritt diese Nothwendigkeit um so schärfer hervor, seit man erkannt hat, dass das einfache Nebeneinandersein der meisten organischen Stoffe und des atmosphärischen Sauerstoffs bei gewöhnlicher Temperatur nur zu einer kaum merklichen Oxydation führt, dass vielmehr erst die lebendige Zelle die Bedingungen für eine rasche Zerstörung und Oxydation organischer Stoffe liefert. Weiter muss die Forderung erhoben werden, dass auch die Substanz der todten thierischen Körper einem zerstörenden und auflösenden Einfluss ausgesetzt ist, der hier ganz in demselben Sinne wirkt wie bei der pflanzlichen todten Substanz; denn auch den thierischen organischen Stoffen gegenüber sehen wir den atmosphärischen Sauerstoff relativ machtlos und ungeeignet, deren Umwandlung in  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  und Wasser zu bewirken.

In diese gefahrdrohende Lücke in dem steten Regenerationsprocess der Natur greifen nun die niederen Pilze ein. Sie bilden den nothwendigen Factor, der eine rasche Zersetzung und Oxydation todter organischer Substanz, thierischen oder pflanzlichen Ursprungs, ermöglicht und in grösstem Umfange immer wieder die einfachen C- und N-verbindungen herstellt, deren die lebende wachsende Pflanze als Nahrung bedarf. Die Pilze sind zu dieser Rolle befähigt gerade dadurch, dass sie nicht wie die anderen chlorophyllhaltigen Pflanzen die Energie der Sonne auszunützen und sich von  $\text{CO}_2$  und  $\text{NH}_3$  zu nähren vermögen, sondern dass sie gleich den Thieren complicirte chemische Verbindungen verarbeiten, deren Spannkraftvorrath ihnen das Material zu ihren Leistungen liefert. Sie sind weiter dazu befähigt durch die weiten Grenzen, innerhalb deren ihre äusseren Exi-

stanzbedingungen ohne Schaden schwanken können; dann durch ihre unglaublich rasche Vermehrung, für welche sie in kurzer Zeit eine bedeutende Masse von Nährstoffen verbrauchen; ferner noch dadurch, dass sie unter gewissen Umständen doch nur einen relativ sehr kleinen Bruchtheil der Nährstoffe für das eigene Wachsthum verwenden, dagegen einen vielfach grösseren, durch die ihnen eigenthümliche Gährwirkung oberflächlich zersetzen und zu weiterer Oxydation geeignet machen. Es ist schliesslich gleichsam nur als eine wenig auffällige Verschiebung ihrer Function anzusehen, wenn sie gelegentlich als Parasiten schon auf lebenden Pflanzen oder Thieren sich ansiedeln und diesen Vernichtung bringen, indem sie aufs schnellste die organischen Körperbestandtheile ihrer Wirthe zu einfachsten chemischen Verbindungen auflösen.

Entsprechend dieser ganzen Auffassung von der Function und Bedeutung der Pilze muss das wesentlichste Merkmal ihrer physiologischen Eigenthümlichkeit in der Ernährung durch complicirte organische Substanz und in dem Unvermögen, den C und N aus  $\text{CO}_2$  und  $\text{NH}_3$  zu assimiliren, gesucht werden. Von dieser Eigenschaft gingen daher frühere Untersuchungen als einer sicheren Thatsache aus.

PASTEUR war der Erste, welcher exacte experimentelle Untersuchungen über die Biologie der Pilze anstellte; diese ergaben aber Resultate, welche in mancher Beziehung von den bis dahin geltenden Anschauungen abwichen. PASTEUR zeigte vor allem, dass Hefe- und Schimmelpilze in so fern auch in einer den höheren Pflanzen ähnlichen Weise zu leben vermögen, als sie den Stickstoff aus Ammoniaksalzen und selbst aus Nitraten zu assimiliren und so, gerade wie chlorophyllhaltige Pflanzen, die complicirten eiweissartigen Substanzen ihres Körpers aus einfachem Material aufzubauen vermögen. Weiter fand man, dass verschiedene Pilze ein sehr differentes biologisches Verhalten zeigen; dass die einen des Sauerstoffs bedürfen und rasche Oxydationen ausführen, andere ohne Sauerstoff zu leben vermögen und dann oft umfangreiche aber oberflächliche Spaltung des Nährmaterials bewirken; dass nur gewisse Pilze saure Reaction und starke Concentration des Nährmediums ertragen; dass sie bei sehr verschiedenen Temperaturen am üppigsten gedeihen; dass die einen diese, die anderen jene Nährsubstanzen bevorzugen, und dass auch nicht alle gleich gut den N des  $\text{NH}_3$  und der  $\text{HNO}_3$  zu verwerthen im Stande sind; dass endlich sogar ein und dieselben Pilze unter wechselnden äusseren Bedingungen in ihrem Stoff- und Kraftwechsel sich ganz verschieden verhalten.

Durch diese Resultate der experimentellen Forschung wurde



zwar die früher construirte Ansicht über die Bedeutung der Pilze für die übrige belebte Natur nicht völlig erschüttert. Denn nach wie vor steht es fest, dass sämmtliche niedere Pilze auch von complicirten chemischen Stoffen zu leben vermögen, dass diese sogar das bevorzugte Nährmaterial bilden, und dass daher die Zerstörung der todtten organischen Substanz wesentlich durch Pilze erfolgt. Aber das physiologische Verhalten, durch welches sie zu ihrer eigenthümlichen Rolle befähigt werden, erscheint nicht mehr als ein so einfaches, mit wenigen Worten zu definirendes, sondern setzt sich zusammen aus einer Menge von gesondert zu betrachtenden Vorgängen, die je nach der Art der Pilze und nach den äusseren Bedingungen, unter denen sie sich befinden, erheblich variiren. Wir können uns daher nicht mehr mit einer allgemeinen Formel begnügen, wenn wir einen Einblick in die Lebenserscheinungen der Pilze gewinnen wollen, sondern wir müssen inductiv verfahren und aus einer grossen Reihe von Einzelbeobachtungen und Einzelexperimenten das Leben der niederen Organismen zu erkennen suchen. Und auch an dieser Stelle werden wir demgemäss der Biologie der Pilze eine eingehende und detailirte Erörterung widmen müssen, um so mehr, als diese Seite der mykologischen Forschung für die Hygiene von ganz hervorragender Wichtigkeit ist.

---

Die gesammten biologischen Erscheinungen, die an den Pilzen zur Beobachtung gelangen, werden zweckmässig in ähnlicher Weise dem experimentellen Studium unterworfen, wie die Lebenserscheinungen der complicirteren Organismen, der Thiere oder höheren Pflanzen. Wenn wir die letzteren als Paradigma zu Grunde legen, so gehen wir im Grunde vom complicirteren zum einfacheren zurück; es ist wahrscheinlich, dass manche biologische Probleme, die trotz zahlreichster Untersuchungen am complicirten Organismus unlösbar waren, an diesen einfachsten Lebewesen weit eher zur Lösung gelangen, und dass somit in späterer Zeit die Biologie der Pilze ein Licht auf die Biologie höherer Geschöpfe reflectiren wird, wenn wir auch einstweilen die an diesen gelernten Erkenntnissmethoden benutzen.

Wollen wir den Stoffwechsel irgend eines complicirteren Organismus in Betracht ziehen, so pflegen wir durch verschieden variirte Ernährungs- und Stoffwechselversuche zunächst die Art und Menge der Stoffe zu bestimmen, welche derselbe von aussen aufnimmt, und die sonstigen äusseren Bedingungen zu normiren, die zum geregelten Ablauf des Lebens nothwendig sind; ferner untersuchen wir die

Schicksale und die Verwendung der aufgenommenen Nährstoffe im Körper, die Ausscheidungsproducte und endlich die Leistungen des Organismus, und sind auf diese Weise in Stand gesetzt, eine Bilanz zu ziehen, die darüber aufklärt, welche stoffliche Veränderungen und welche Kraftumsetzungen die Grundlagen des Lebens jenes Organismus ausmachen.

In ganz ähnlicher Weise werden wir die Biologie der niederen Pilze zergliedern müssen. Auch für diese haben wir zunächst die nothwendigen Lebensbedingungen experimentell zu ermitteln; es fragt sich, welche festen Nährstoffe den Pilzen geboten werden müssen, welche Rolle der Sauerstoff spielt, ob Temperatur, Luftdruck, Licht u. s. w. von merkbarem Einfluss auf Wachsthum und Vermehrung der Pilze sind. So weit die Fortpflanzung durch Sporenbildung erfolgt, ist noch gesondert zu erörtern, welche Bedingungen diesem Act zu Grunde liegen, und von welchen äusseren Umständen das Auskeimen der Sporen wiederum abhängt.

Zweitens sind dann die Lebensäusserungen der niederen Pilze zu erörtern. Als solche lernen wir zunächst die Assimilirung des Nährmaterials, die Stoffumwandlungen in den Zellen und gleichzeitig damit verschiedene Kraftleistungen z. B. Wachsthum, Vermehrung und Fructification kennen; ferner scheiden die Pilze gewisse Stoffwechselproducte aus, die theilweise von besonderem Interesse sind; endlich äussern sie unter Umständen zwei eigenthümliche Wirkungen, nämlich die Gährwirkung und die Krankheitserregung, die eingehende Betrachtung erfordern.

Die Erörterung der Lebensbedingungen schliesst naturgemäss auch eine Besprechung der das Leben schädigenden und störenden Einflüsse in sich. Es erscheint jedoch zweckmässig, in einem dritten gesonderten Abschnitt die Erscheinungen der Involution und des Todes der niederen Pilze, sowie derjenigen Mittel zu besprechen, welche zu einer Wachsthumshemmung oder Vernichtung der Pilze führen können. Es sind diese Mittel identisch mit den desinficirenden Mitteln, welche neuerdings so grosse Bedeutung erlangt haben.

Viertens endlich sind die Untersuchungen über die Biologie der niederen Pilze auch noch über das Individuum hinaus auszu dehnen, und das Verhalten einer fortlaufenden Reihe von Individuen ist in Betracht zu ziehen. Das Auftreten von Modificationen, Varietäten, Rassen und Arten ist es namentlich, das in dieser Richtung unsere Aufmerksamkeit in Anspruch nehmen muss.

Die gesammten im folgenden gegebenen biologischen Erörterungen

sind lediglich auf die hygienisch wichtigsten niederen Pilze (Schimmelpilze, Hefepilze und Spaltpilze) beschränkt; bezüglich anderer Pilze und Mikroorganismen, welche in die vorstehende morphologische Uebersicht mit aufgenommen sind, muss auf die dort gelegentlich gegebenen physiologischen Notizen verwiesen werden.

## I. Lebensbedingungen der niederen Pilze.

Für ein besseres Verständniss der Ernährungsvorgänge erscheint es erforderlich, zunächst einen kurzen Ueberblick über die chemische Zusammensetzung der Pilze zu geben. Sodann ist der Reihe nach die Bedeutung der einzelnen Nährstoffe zu besprechen und zwar zunächst die des Stickstoffs, dann die des Kohlenstoffs, des Wasserstoffs und gebundenen Sauerstoffs, der Mineralsubstanzen, des Wassers und endlich des freien Sauerstoffs. Specielle Beachtung erfordern noch namentlich die Concentration und die Reaction des Nährgemisches. Von ferneren Lebensbedingungen stellt sich der Einfluss von Druck, Licht, Elektrizität, mechanischen Bewegungen als minder wichtiges, die Einwirkung verschiedener Temperatur, die Gährwirkung und die Concurrenz mit anderen Pilzen als sehr bedeutsames Moment für das Gedeihen der einzelnen Mikroorganismen heraus. — Schliesslich erfordern noch die verschiedenen Lebensphasen und Lebensäusserungen, welche sich ausser dem einfachen Wachsthum resp. der Vermehrung an den Pilzen beobachten lassen, eine besondere Erörterung der dafür nöthigen Bedingungen. Von diesen letzteren sollen jedoch an dieser Stelle nur noch die Bedingungen der Sporenbildung und Sporenkeimung besprochen werden, während die Bedingungen für das Zustandekommen der Gährthätigkeit und der Krankheitserregung, sowie die Bedingungen der Involution und des Absterbens späteren Capiteln vorbehalten bleiben.

In fast allen diesen Punkten zeigen nun aber die Schimmelpilze, Sprosspilze und Spaltpilze ein so abweichendes Verhalten untereinander, dass jeder einzelnen dieser drei Classen eine besondere Betrachtung gewidmet werden muss.

### *a) Lebensbedingungen der Schimmelpilze.*

1) Chemische Zusammensetzung der Schimmelpilze. Bis vor kurzem lagen noch keine vollständigen Analysen der eigentlichen Schimmelpilze vor; doch durfte man wohl annehmen, dass ihre Zusammensetzung eine ähnliche ist wie die der grösseren Pilze.

Für diese kann man als Mittel der Analysen etwa folgende Zahlen aufstellen:

88% Wasser, 3% stickstoffhaltige, 5% stickstofflose organische Stoffe, 1% Asche; im lufttrockenen Zustande: 17% Wasser, 25% stickstoffhaltige, 45% stickstofflose Substanz, 8% Asche.

Neuerdings hat SIEBER<sup>1)</sup> einige Analysen von Schimmelpilzen ausgeführt; allerdings wie es scheint ohne genügende Vorsichtsmassregeln für die Reinhaltung des Materials. Es wurde gefunden: 1) für eine Cultur von *Penicillium* und *Mucor* auf einer Nährlösung von Zucker und Gelatine:

In Aether löslich = 18,7% der trockenen Substanz.

In Alkohol löslich = 6,9% " " "

Asche . . . . = 4,9% " " "

Eiweiss . . . . = 29,9% " " "

Cellulose . . . . = 39,6% " " "

2) für eine Cultur auf Salmiak-Zuckerlösung, vorwiegend aus *Aspergillus glaucus* bestehend:

In Aether löslich = 11,2%; in Alkohol löslich = 3,4%; Asche = 0,7%; Eiweiss = 28,9%; Cellulose = 55,7%.

Besonders bemerkenswerth ist gegenüber den unten mitgetheilten Analysen der Spross- und Spaltpilze das bedeutende Ueberwiegen der N-freien Substanzen; es beruht dies vor allem darauf, dass eine stark entwickelte Cellulose vorhanden ist und dass nur im Zellinhalt eiweissartige Substanzen sich finden; ferner darauf, dass auch lösliche zuckerartige Stoffe in wägbarer Menge vorhanden sind.

Die Mineralbestandtheile setzen sich bei grösseren Pilzen im Durchschnitt folgendermassen zusammen:

50% Kali, 1,5% Natron, 1% Kalk, 2% Magnesia, 1% Eisenoxyd, 30% Phosphorsäure, geringe Mengen von Kieselsäure und Salzsäure und sehr wechselnde Mengen von Schwefelsäure.

Am bedeutungsvollsten erscheinen demnach Kali und Phosphorsäure.

2) Die Nährstoffe der Schimmelpilze. Der chemischen Zusammensetzung entsprechend wird zum Aufbau und zur Erhaltung des Körperbestandes der Schimmelpilze in grösster Menge Wasser, ferner C- und N-haltige organische Substanz, von Aschebestandtheilen hauptsächlich Kali und Phosphorsäure erforderlich sein; welche chemische Verbindungen aber diese Nährstoffe zu liefern im Stande sind und in welchem Mengenverhältniss sie dargeboten sein müssen, darüber können nur besondere Experimente Aufschluss geben.

1) Journ. f. prakt. Chemie. (2). 23. 412.



Einschlägige Versuchsreihen sind früher von PASTEUR und in ausgedehnter Weise von RAULIN<sup>1)</sup> ausgeführt. Letzterer verfuhr dabei so, dass er *Aspergillus niger* in einer Nährlösung züchtete, von der er nach vielfältigen Versuchen annehmen durfte, dass sie zur Ernährung des Pilzes besonders geeignet und als Normallösung zu betrachten sei. Dieselbe war zusammengesetzt aus 1500 Grm. Wasser, 70 Grm. Candiszucker, 4 Grm. Weinsäure, 4 Grm. Ammoniumnitrat, 0,6 Grm. Ammoniumphosphat, 0,6 Grm. Kaliumcarbonat, 0,4 Grm. Magnesiumcarbonat, 0,25 Grm. Ammoniumsulfat und je 0,07 Grm. Zinksulfat, Eisensulfat und Kaliumsilikat. Säete RAULIN in diese Flüssigkeit, die er in 2—3 Ctm. hoher Schicht in flachen bedeckten Schalen bei etwa 35° hielt, Sporen von *Asp. niger* aus, so war nach 3 Tagen ein überall fructifizirendes Mycel gebildet; dasselbe wurde abgenommen, und von der restirenden Flüssigkeit wurde nach abermals 3 Tagen eine neue Vegetation gewonnen, nach deren Entfernung sich die Nährstoffe der Flüssigkeit fast völlig erschöpft zeigten. Das Trockengewicht der gesammelten Ernten wurde bestimmt und zu etwa 25 Grm. gefunden. — Mit diesem Resultate wurden nun die Erntegewichte verglichen, die sich erzielen liessen, wenn der eine oder andere Bestandtheil der Normalnährlösung fortgelassen wurde. RAULIN fand, dass das Fehlen der Phosphorsäure den grössten Ausfall bedingte, indem sie die Ernte auf  $\frac{1}{200}$  der normalen reducirte; Fehlen des Ammoniaks liess nur  $\frac{1}{150}$ , des Kalis  $\frac{1}{25}$  der normalen Ernte aufkommen. Kein Bestandtheil der RAULIN'schen Flüssigkeit konnte ohne Schaden ganz fehlen; selbst ein Fortlassen des Zinks beeinträchtigte das Erntergebniss erheblich.

Vollkommenere Versuche ähnlicher Art sind neuerdings von NÄGELI angestellt. Derselbe zeigte, dass den früheren Versuchen gewisse Fehlerquellen anhaften dadurch, dass z. B. nicht genügend auf die Herstellung von Reinculturen und auf den Abschluss aller anderen Pilze geachtet war, dass ferner der Luftzutritt, die Reaction, die günstigste Concentration jedes einzelnen Nährstoffs (das sog. Concentrationsoptimum), endlich die Veränderung der Nährlösung durch das Wachsthum des Pilzes selbst, nicht genügend berücksichtigt wurden. NÄGELI's<sup>2)</sup> vielfältige und exacter angestellte Versuche führten ungefähr zu folgenden Resultaten:

Der Stickstoffbedarf kann nicht gedeckt werden durch freien Stickstoff und durch den an Kohlenstoff gebundenen Stickstoff des Cyans; ebenso scheint sich der an Sauerstoff gebundene Stickstoff als ziemlich ungenügend zu erweisen, wenigstens waren Nitroverbindungen, wie Pikrinsäure und Nitrobenzoësäure sehr schlechte Nährstoffe. Am besten dagegen scheint die  $\text{NH}_2$ -Gruppe, weniger

1) RAULIN, Compt. rend. T. 56. p. 229.

2) NÄGELI, Untersuchungen über niedere Pilze, München 1882.

gut die NH-Gruppe assimilirbaren N zu liefern; dementsprechend erweisen sich als geeignet zur Ernährung von Schimmelpilzen: Ammoniaksalze (Salmiak, Ammoniumphosphat, Ammoniumnitrat; essigsaures, oxalsaures, bernsteinsaures, weinsaures Ammoniak u. s. w.); ferner salzsaures Methyl- und Aethylamin, Trimethylamin; Leucin, Asparagin; Acetamid, Oxamid; Harnstoff. Am besten geeignet als N-haltiges Nährmaterial sind die löslichen Eiweissstoffe und Peptone. Endlich kann auch aus Nitraten der N durch Schimmelpilze assimiliert werden; vermuthlich findet dabei eine allmähliche Reduction der  $\text{HNO}_3$  zu  $\text{HNO}_2$  und schliesslich zu  $\text{NH}_3$  statt; doch konnten diese Reductionsproducte bisher nicht nachgewiesen werden. Bei vergleichenden Versuchen zeigte sich zwischen dem Nähreffect der Nitrate und der Ammoniaksalze kein deutlicher Unterschied; Harnstoff war günstiger als beide; Pepton besser als dieser.

Der Kohlenstoff kann der Gruppe  $\text{CH}_3$  oder  $\text{CH}_2$  entnommen werden, wobei es dann ausserdem günstig und unter Umständen nöthig ist, dass mehrere C-Atome zu einem Molekül vereinigt sind. Bestehen in einer chemischen Verbindung lediglich Bindungen des C's mit N, O oder C, so vermag aus derselben kein C assimiliert zu werden. Nicht zur C-Nahrung geeignet sind daher  $\text{CO}_2$ , Cyan, Ameisensäure, Harnstoff (nur bezüglich des C's!), Oxalsäure, Oxamid. Ausserdem sind selbstverständlich diejenigen Verbindungen zur Ernährung ungeeignet, die in Wasser unlöslich sind, wie die höheren Fettsäuren, ferner die unlöslichen Huminsubstanzen. Unter den nährenden Kohlenstoffverbindungen scheint dann noch, abgesehen von der Zahl der C-Atome, die Zersetzlichkeit der Verbindung günstigen Einfluss zu üben; je leichter auch durch andere Agentien, durch Oxydationsmittel u. s. w. eine Zerlegung der Verbindung eintritt, um so leichter vermag sie assimiliert zu werden. Empirisch hat sich NÄGELI etwa folgende Stufenfolge für die Nährfähigkeit verschiedener organischer Verbindungen bezüglich des Kohlenstoffs ergeben: 1) Die Zuckerarten. 2) Mannit, Glycerin; die C-Gruppe im Leucin. 3) Weinsäure, Citronensäure, Bernsteinsäure, die C-Gruppe im Asparagin. 4) Essigsäure, Aethylalkohol, Chinasäure. 5) Benzoësäure, Salicylsäure, die C-Gruppe im Propylamin. 6) Die C-Gruppe im Methylamin, Phenol. Ferner erwiesen sich noch Pyrogallol und Gerbsäure als ziemlich gute C-Quellen; und endlich ist noch die schon im Jahre 1855 gemachte Beobachtung PASTEUR's zu erwähnen, dass auch Traubensäure, eine Verbindung von rechtsdrehender und linksdrehender Weinsäure, in der Form von traubensaurem Ammoniak Schimmelpilze zu ernähren vermag, dass dabei aber nur die rechtsdrehende Weinsäure

von den Pilzen aufgenommen wird, während die linksdrehende in der Nährflüssigkeit zurückbleibt.

Im Grunde ist eine Vergleichung des Nährwerths der verschiedenen C-Quellen sehr schwierig, weil sie in ihrer Wirkung sich offenbar anders verhalten werden, sobald die Quellen für den N-Bedarf wechseln; und wiederum, wenn man für Gleichheit der N-haltigen Nährstoffe sorgt, so ist es fraglich, ob dieselbe N-Substanz nicht in anderer Weise assimiliert wird, wenn die C-Quellen verschieden sind. Es scheint daher zu exacteren Vergleichsversuchen zu führen, wenn man C- und N-Quellen combinirt und dann verschiedene derartige Combinationen vergleichenden Experimenten unterwirft. In solcher Weise ist NÄGELI zu folgender Skala gelangt, die von den besser zu den schlechter nährenden Substanzen fortschreitet: 1) Eiweiss (Pepton) und Zucker. 2) Leucin und Zucker. 3) Weinsaures Ammoniak oder Salmiak und Zucker. 4) Eiweiss (Pepton). 5) Leucin. 6) Weinsaures Ammoniak; bernsteinsaures Ammoniak; Asparagin. 7) Essigsäures Ammoniak.

Eiweissartige und zur Gruppe der Kohlehydrate gehörige Stoffe scheinen demnach die normalen Nahrungsquellen der Schimmelpilze zu sein und es sind zugleich diejenigen Nährstoffe, auf welche dieselben in den natürlichen Verhältnissen gewöhnlich angewiesen sind. Andererseits aber ist es bemerkenswerth, in welcher grossen Breite eine Variirung des Nährmaterials gestattet ist, und wie die Schimmelpilze gerade durch die Nährfähigkeit der allerverschiedensten, chemisch differentesten Substanzen in besonders günstiger Weise für die Erhaltung ihres Lebens ausgerüstet erscheinen.

Was die Zufuhr des Wasserstoffs und des gebundenen Sauerstoffs betrifft, so geschieht dieselbe theils durch die oben genannten C- und N-Verbindungen, theils durch Wasser und freien Sauerstoff. — An der Constitution der organischen Substanzen der Schimmelpilze betheiligt sich schliesslich noch der Schwefel, der ja vermuthlich in allen eigentlichen Eiweissstoffen enthalten ist. Nach NÄGELI'S Versuchen kann derselbe aus Albuminaten; ebensogut aber oder besser aus schwefelsauren, schwefligsauren und unterschwefligsauren Verbindungen entnommen werden; auch Sulfosäuren können als Ersatz fungiren, nicht aber Sulfoharnstoff und Rhodanverbindungen. Exakte Versuche über die S-Zufuhr sind übrigens deshalb sehr schwierig auszuführen, weil die geringen zur ausreichenden Ernährung nöthigen S-Mengen gewöhnlich als Verunreinigung den übrigen Nährmaterialien, z. B. auch dem Zucker, anhaften.

Sehr wichtig für die Ernährung der Schimmelpilze sind Wasser



und Mineralsubstanzen. Das Wasser ist selbstverständlich in grösster Menge zur Ernährung der Schimmelpilze erforderlich; theils tritt es in die complicirten Verbindungen ein, welche von den Pilzen aufgebaut werden, theils macht es den Hauptbestandtheil neugebildeter Pilzsubstanz aus, theils ist es das Lösungs- und Transportmittel, welches hier wie bei den höheren Organismen die Bewegung der Stoffe in der Zelle ermöglicht. Von besonderem Interesse ist bezüglich des Wasserbedarfs der Schimmelpilze dasjenige Minimum von Wasser, welches in den Nährsubstraten vorhanden sein muss, falls eine genügende Ernährung zu Stande kommen soll; auf dieses Verhalten ist bei der Erörterung der Concentration der Nährstoffe noch näher einzugehen. — Von Mineralsubstanzen sind nach NÄGELI's neueren Untersuchungen relativ wenige erforderlich. Während die chlorophyllhaltigen Pflanzen ausser Phosphorsäure, Schwefelsäure und Alkalien noch Calcium und Magnesium und ferner noch Eisen, Kieselsäure und Chlor zur ausreichenden Ernährung bedürfen, wird der Bedarf der Schimmelpilze gedeckt durch Schwefelsäure, Phosphorsäure, Kalium, Calcium oder Magnesium, dabei kann das Kalium nicht etwa durch Natrium, wohl aber durch Caesium und Rubidium ersetzt werden; das Calcium können ausser Magnesium auch noch Barium und Strontium vertreten. Stets aber muss ein Element aus der Gruppe der Alkalien und eines aus der Gruppe der alkalischen Erden gleichzeitig vorhanden sein; beiden scheinen verschiedene Functionen zuzukommen, die vielleicht so bezeichnet werden können, dass die Erden, zum Theil als Erdphosphate, nur Einlagerungen in Plasma und Zellmembran bilden, während die Alkalisalze hauptsächlich in der Form von primärem und secundärem Kaliumphosphat ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$  und  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , ersteres von saurerer, letzterer von alkalischer Reaction) in Lösung in der freien Zellflüssigkeit sich finden.

Ausser den bisher aufgezählten festen und flüssigen Nährstoffen bedürfen die Schimmelpilze zu ihrer normalen Entwicklung durchaus noch der Zufuhr freien gasförmigen Sauerstoffs. Schon PASTEUR hatte constatirt, dass ähnlich wie dies von grösseren Pilzen bekannt war, so auch Schimmelpilze (*Penicillium*) Sauerstoff aus der sie umgebenden Atmosphäre aufnehmen. Bestätigt wird das Sauerstoffbedürfniss der Schimmelpilze ausserdem durch die Art ihres Vorkommens und ihrer Ansiedelungen, die sich nur auf solche Orte beschränken, wo sie in unmittelbarer Berührung mit freiem Sauerstoff sind. Sie vegetiren daher nur auf der Oberfläche von Flüssigkeiten (ebenso auf der äusseren Oberfläche des thierischen oder menschlichen Körpers, in den Luftwegen u. s. w.) und in diesen nur so weit, als



ihnen dies der in den Flüssigkeiten gelöste Sauerstoff gestattet. Werden sie in sauerstofffreien Flüssigkeiten untergetaucht, so hört das normale Wachsthum auf; einige Schimmelpilze (nam. *mucor*, s. S. 55) können dann nur noch hefeartige Sprossungen treiben, und damit nach BREFELD's Anschauung ein auf die Erhaltung der Art abzielendes Moment schaffen; denn die hefeartigen Zellen erzeugen in dem O-freien Medium Gährung mit reichlicher CO<sub>2</sub>-Entwicklung, und der entstehende Strom von CO<sub>2</sub>-Bläschen trägt die Elemente des Pilzes wieder an die Oberfläche, wo sie in normaler Weise zu wachsen und zu fructificiren vermögen. — Eine Ausnahme bildet scheinbar das Wachsthum der Schimmelpilze im Innern des thierischen Körpers. In neuerer Zeit ist durch zahlreiche Versuche der sichere Nachweis erbracht, dass Sporen von *Aspergillus*- und *Mucor*-arten (vgl. S. 55 und 61) in der Niere und in anderen inneren Organen des lebenden Körpers keimen und zum Mycel auswachsen können. Dabei ist aber bis jetzt stets nur eine beschränkte Mycelbildung, niemals die Production von Fruchträgern und Sporen beobachtet; und es lässt sich daher das Sauerstoffbedürfniss der Schimmelpilze wohl dahin präcisiren, dass normales Wachsthum mit Fructification nur in einer Atmosphäre stattfinden kann, welche die fortgesetzte Berührung mit freiem O gestattet; dass dagegen zur Mycelbildung allein vermuthlich auch locker gebundener Sauerstoff, wie er im thierischen Körper im Sauerstoff-Hämoglobin geboten ist, ausreicht. Dieser Anschauung entspricht dann auch das Auftreten der parasitischen Pilze bei niederen Thieren; die pathogenen *Empusa*-, *Cordyceps*-, *Botrytis*-, *Isaria*-arten bilden im Körper der befallenen Raupen und Insecten stark entwickelte Mycelien; die eigentliche Fructification erfolgt aber stets erst mit Hülfe von Fruchträgern, welche die Körperoberfläche durchbrochen haben und mit der Luft in Berührung getreten sind (vgl. auch unter „Krankheitserregung“).

So weit reichen unsere jetzigen Kenntnisse über die Qualität der nothwendigen Nährstoffe der Schimmelpilze. Ausser diesen muss aber ferner die Quantität der verschiedenen Nährstoffe und ihr Mengenverhältniss interessiren. Es ist vorauszusehen, dass ein Uebermass oder eine zu geringe Menge des einen oder anderen Nährstoffs ungünstig wirkt und dass es ein Optimum der Quantität für jeden einzelnen Nährstoff geben wird, bei welchem die Ernährung am besten vor sich geht, welches aber abhängig ist von der sonstigen Zusammensetzung des Nährgemisches und in seinen Werthen variirt je nach der Menge der anderen gleichzeitig vorhandenen Stoffe. Ueber diese wichtigen Fragen ist indess noch sehr wenig bekannt;

nur 2 Momente sind auf Grund zahlreicher Beobachtungen und einzelner Untersuchungen einer Erörterung zugänglich, nämlich einmal die für ein geeignetes Nährgemisch nöthige Wassermenge, mit anderen Worten die Concentration des Nährgemisches; und dann die Menge von überschüssigem freiem Alkali oder freier Säure, die gleichbedeutend ist mit der Reaction des Nährgemisches.

Was die Concentration oder den Wassergehalt der Nahrung anlangt, so können sehr bedeutende Schwankungen stattfinden, ohne das Wachsthum von Schimmelpilzen völlig zu hindern; die Schimmelpilze besitzen in dieser Beziehung eine weit geringere Empfindlichkeit als Spross- und Spaltpilze. Einige Schimmelpilze gedeihen noch in den verdünntesten Nährgemischen, die nur Spuren der nothwendigen Nährstoffe enthalten (namentlich bei *Penicillium* beobachtet). Während jedoch nach dieser Seite hin die Lebensfähigkeit der Spross- und Spaltpilze nahezu die gleiche ist, sind die Schimmelpilze diesen weit überlegen, wenn es sich um geringen Wassergehalt und starke Concentrationen handelt. Auch gegen diese zeigen sich die Schimmelpilze äusserst unempfindlich; Nährgemische, denen durch Verdunstung, durch Salz- oder Zuckerzusatz ein grosser Theil des Wassers entzogen ist, und die dadurch ungeeignet geworden sind Spross- und Spaltpilze zu ernähren, reichen noch aus zur Cultivirung verschiedener Schimmelpilze. Zahlen für die untere und obere Grenze des Wassergehalts sind noch nicht festgestellt, und lassen sich auch nur schwer feststellen, weil dieselben je nach der sonstigen Beschaffenheit des Nährmediums und nach dem Bedürfniss der verschiedenen Schimmelpilzarten erheblich schwanken. Bei der Conservirung der Nahrungsmittel hat man die Erfahrung gemacht, dass z. B. geräuchertes oder gesalzenes Fleisch, das 50% Wasser enthält, keinen Nährboden mehr bietet für Spaltpilze, dagegen wohl noch zu schimmeln vermag; eine völlige Hinderung der Schimmelbildung scheint erst bei einem Wassergehalt von nur 10—12% einzutreten; ist gleichzeitig Zucker in reichlicher Menge vorhanden, so tritt dieselbe Wirkung schon bei einem Wassergehalt von circa 30% ein. — Diese Zahlen bezeichnen die unterste zulässige Grenze des Wassergehalts; das Optimum desselben liegt viel höher, vielleicht bei 80%, so weit die Abhängigkeit des Optimums von der Menge der übrigen Nährstoffe die Aufstellung einer solchen bestimmten Ziffer gestattet. — Uebrigens sind nicht alle Schimmelpilze in gleicher Weise gegen höhere Concentration des Nährmediums indifferent; gewisse Pilze scheinen erheblich empfindlicher zu sein, so einige vorzugsweise parasitisch lebende, die lediglich in gewissen feuchten Jahren und an feuchten Localitäten vorkommen.

Auch die Reaction der Nährmischung ist von wesentlichstem Einfluss auf das Gedeihen der Schimmelpilze. Am empfindlichsten scheinen sie gegen einen Ueberschuss von Alkali zu sein, obwohl einzelne Formen auch noch auf deutlich alkalisch reagirendem Substrat vorkommen; viel weniger schädlich ist ein Ueberschuss von Säure. Freie Weinsäure kann bis zu 5%, freie Phosphorsäure bis zu 1% und mehr im Nährgemisch vorhanden sein, ohne dass dadurch die Ansiedlung von Schimmelpilzen verhindert wird. Auch dieses Verhalten ist deshalb von grosser Wichtigkeit, weil hier wiederum ein Unterschied vorliegt zwischen den Schimmelpilzen und der Mehrzahl der Spaltpilze, welche ihrerseits gerade gegen Säureüberschuss sehr empfindlich sind, und weil deshalb durch die Reaction des Nährgemisches allein die Art der in einer Concurrenz siegenden Pilze bestimmt sein kann. — In dieser Richtung fehlt es übrigens ebenfalls noch an Zahlenwerthen, welche die Differenzen der Nährlösungen und die specifische Eigenart verschiedener Pilzformen berücksichtigen.

Wie erwähnt, muss es auch für alle übrigen Nährstoffe günstigste Mengenverhältnisse geben, deren Ueber- oder Unterschreitung störend und beeinträchtigend wirkt. Jede Beimischung fremder, nicht nährender Stoffe muss ferner eine gewisse Verschlechterung des Nährgemisches veranlassen, selbst wenn diese Stoffe an sich durchaus kein Gift für den Pilz darstellen und sogar in grosser Concentration das Wachsthum desselben nicht völlig verhindern. Endlich können dann noch giftige, specifisch das Wachsthum der Schimmelpilze schädigende Stoffe im Nährsubstrat oder in der umgebenden Luft vorhanden sein; die Wirkung dieser ist in dem Capitel „Desinfection“ näher zu besprechen.

3) Sonstige Lebensbedingungen der Schimmelpilze. Gesteigerter und verminderter Luftdruck, Licht, Elektricität sind bezüglich ihres Einflusses auf das Wachsthum der Schimmelpilze noch nicht Gegenstand ausgedehnter Versuchsreihen gewesen; so weit die bisherigen Beobachtungen Schlüsse gestatten, scheinen sie ohne merkbaren Einfluss zu sein. Auch über eine störende oder günstige Wirkung von Bewegungen der Nährgemische ist nichts bekannt; und von einem förderlichen oder hemmenden Einfluss der Gährthätigkeit auf das Wachsthum kann bei den Schimmelpilzen keine Rede sein, da sie keine Gährung veranlassen. Es bleiben somit von den Lebensbedingungen, welche ausser den Nährstoffen das Leben der Pilze zu beeinflussen vermögen, nur noch die Temperatur und die Concurrenz mit anderen Pilzen als solche Momente übrig, die für das Gedeihen der Schimmelpilze in Betracht gezogen werden können.



Die Temperatur kommt hier nur so weit in Frage, als sie sich innerhalb mittlerer Grenzen bewegt; die Extreme, starke Kälte und Hitze, sind bei der Besprechung der Absterbebedingungen der Pilze zu erörtern. Für diejenigen Temperaturen, welche innerhalb der natürlichen Verhältnisse vorkommen, gilt nun ungefähr dasselbe, was oben bezüglich der Concentration der Nährstoffe betont wurde. Für die Schimmelpilze existirt ein Optimum der Temperatur, bei welchem sie am raschesten wachsen und am besten gedeihen; aber dieses Optimum ist vor allem ganz verschieden je nach der Art des Pilzes, und ist ferner verschieden je nach den im Einzelfall gegebenen, sonstigen Lebens- und Nährbedingungen. Für *Penicillium* liegt das Optimum *cet. par.* ganz anders wie für *Aspergillus*, und für diesen wiederum anders als für *Mucor*. *Penicillium* scheint am besten bei einer Temperatur von ungefähr  $20^{\circ}$  zu gedeihen; es vegetirt noch bei relativ niedriger Temperatur (bei  $+2,5^{\circ}$ )<sup>1)</sup>, die sich wenig über den Gefrierpunkt erhebt, mit ansteigender Temperatur nimmt die Wachstumsenergie zu, bis jenes Optimum erreicht ist, um dann wieder abzunehmen, bis bei etwa  $43^{\circ}$  die Weiterentwicklung aufhört. Für *Aspergillus flavescens* liegt dagegen das Optimum viel höher, etwa bei  $35-38^{\circ}$ , bei  $+45^{\circ}$  vegetirt er noch lebhaft (Eidam); bei  $12-15^{\circ}$  ist sein Wachsthum ein penibles und äusserst langsames. Mehrfach variirte Versuche müssen auch hier noch bestimmtere Zahlen liefern; so viel ist jedenfalls sicher, dass die Temperatur oft ausschlaggebend sein muss für diejenige Art von Schimmelpilzen, welche zur Entwicklung und zur Herrschaft in einem Nährmedium gelangt.

Einen ganz wesentlichen Einfluss auf das Gedeihen einer Schimmelpilzcultur hat endlich die gleichzeitige Etablierung anderer Pilze auf demselben Nährmedium. Während es leicht gelingt, in einer nur mit Schimmelpilzen besäten und gegen den Zutritt anderer Pilze geschützten Nährlösung eine lebhaftere Vegetation zu erzielen, kommt vielleicht in derselben Nährlösung kein Schimmelpilz zur Entwicklung, wenn gleichzeitig Spaltpilze hineingelangen, denen das betreffende Nährmedium eine raschere Vermehrung gestattet. Unter diesen Umständen sind dann gerade diejenigen Lebensbedingungen von besonderer Wichtigkeit, welche bei den Schimmelpilzen, Sprosspilzen und Spaltpilzen verschieden sind; und als solche kennen wir namentlich die Concentration und die Reaction des Nährmediums. In einem wasserarmen und ebenso in einem stark saueren Gemenge

---

1) WIESNER, Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wiss. I. Abth. 1873. April.



vermögen nur wenige Spaltpilze zu gedeihen; wo also diese Bedingungen vorliegen, gehört der Boden ausschliesslich Spross- und Schimmelpilzen, und es gelingt Schimmelpilzen ein Terrain zu erobern, das bei geringerem Säuregrad oder bei reichlicherem Wassergehalt unzweifelhaft von Spaltpilzen occupirt sein würde, die viel energischer die Nährstoffe assimiliren und diese den Schimmelpilzen entziehen. Auf diese wichtige Concurrenz unter den verschiedenen Pilzclassen ist noch bei verschiedenen anderen Gelegenheiten aufmerksam zu machen. Eine ähnliche Concurrenz findet natürlich auch unter den verschiedenen Pilzarten einer und derselben Classe statt, nur dass hier dann andere Factoren für den Sieg der einen oder anderen Art ausschlaggebend sind. So ist z. B. die Temperatur in diesem Sinne von bedeutendstem Einfluss; während auf einem 15° warmen Nährmedium, auf das sowohl *Aspergillus*- wie *Penicillium*-sporen gelangen, nur die letzteren zur Bildung einer reichlichen Cultur gelangen, welche die *Aspergillus*-keime vollständig unterdrückt, kann man sehr wohl auch diese letzteren zur Occupation des Nährmediums bringen, wenn man die *Penicillium*-sporen vollständig fernhält; und umgekehrt führt die gemeinsame Aussaat beider Arten auf ein 35° warmes Medium stets nur zum Aufgehen der *Aspergillus*-saat. Auch andere Nährbedingungen können in ähnlichem Sinne wirken, und so ist die schliesslich resultirende Cultur resp. die in der Natur vorgefundene Ansiedlung eines gewissen Schimmelpilzes nicht allein begründet in den vorhandenen Lebensbedingungen, sondern ist auch wesentlich abhängig von denjenigen anderen Pilzformen, welche gleichzeitig mit dem Nährboden in Berührung gekommen und so zur Concurrenz gelangt sind.

4) Bedingungen der Sporenbildung und Sporenkeimung. Bei den Schimmelpilzen gehört die Sporenbildung so durchaus zum Leben des Pilzes, dass eine Mycelbildung ohne Fructification nicht als normale und vollkommene Entwicklung angesehen werden kann. In den allerseltensten Fällen kommt es nur zur Bildung steriler Mycelien (vgl. S. 78); praktisch haben wir es fast stets mit sporenbildenden Mycelien zu thun. Die oben geschilderten Lebensbedingungen gelten daher auch nicht für das Wachsthum des Mycels allein, sondern zugleich für die Fructification und Sporenbildung; wie nothwendig namentlich für letztere die Gegenwart von Sauerstoff ist, wurde oben bereits betont, und es erübrigt daher an dieser Stelle nur noch das wenige anzuführen, was speciell über den Act der Sporenkeimung bekannt ist. Für diese ist zunächst die Anwesenheit besonderer Nährstoffe nicht unbedingt erforderlich,

ausgenommen eine grössere Wassermenge; die Bildung des Keimschlauchs erfolgt dann auf Kosten der in der Spore angehäuften Nährstoffe, und erst von einer gewissen Entwicklung des Keimschlauchs an bedarf es der Zufuhr der oben angegebenen nothwendigen Nahrungsmittel. Es kann daher das Auskeimen der benetzten Sporen selbst auf Glasplatten beobachtet werden. (Bei einigen Pilzen z. B. *Mucor mucedo* erfolgt auch das erste Auskeimen nur auf geeignetem Nährsubstrat.) — Ausser Wasser ist noch die Anwesenheit von Sauerstoff zum Keimungsprocess nothwendig; und ferner eine geeignete Temperatur. Letztere zeigt auch hier für differente Pilzsporen ein verschiedenes Minimum, Optimum und Maximum. Für *Penicillium*sporen liegt ersteres bei  $+ 0,5$ , letzteres bei  $+ 43^{\circ}$ , das Optimum bei  $+ 22^{\circ}$ . — Belichtung ist für die Sporenkeimung der Pilze nicht erforderlich.

Vom Eintritt der Keimungsbedingungen an bis zum Hervortreten des Keimschlauchs ist ein gewisser Zeitraum erforderlich, der von der Art der Sporen und vermuthlich vor allem von der Dicke der Sporenmembran abhängig ist und von wenigen Stunden bis zu mehreren Tagen variirt. Aehnliche Schwankungen bestehen bezüglich der Dauer der Keimfähigkeit der Sporen. Bei den Uredo- und Aecidiumsporen der Rostpilze, sowie bei Peronosporaceen erhält sie sich nur wenige Wochen, während die Sporen von *Ustilago carbo*, *Tilletia caries* 2—3 Jahre, die von *Botrytis Bassiana* 1—2 Jahre keimfähig bleiben. Eigenthümlich ist ferner noch die Erscheinung, dass die Dauersporen erst nach einer längeren Ruheperiode zu keimen vermögen (vgl. S. 46).

### b) Lebensbedingungen der Sprosspilze.

1) Chemische Zusammensetzung der Sprosspilze. Ueber die Sprosspilze liegen sehr zahlreiche Versuche vor, die einen ziemlich genauen Einblick in ihre chemische Zusammensetzung und ihren Stoffwechsel gestatten. Dieselben betreffen fast durchweg die gewöhnliche Bierhefe, deren nützliche Verwendung im menschlichen Haushalt von jeher ein besonderes Interesse an dieser Pilzspecies erweckt hat; selten sind andere Sprosspilze zum Untersuchungsobject gewählt, wie z. B. *Mycoderma vini* (von A. SCHULTZ, in MAYER's Gährungschemie, S. 213).

Gesammtanalysen von Hefe liegen namentlich vor von SCHLOSSBERGER, MULDER und WAGNER, MITSCHERLICH, PAYEN, LIEBIG.<sup>1)</sup> Im

1) Vgl. MAYER, Lehrbuch der Gährungschemie. 1879. S. 110. — SCHÜTZENBERGER, Gährungserscheinungen. S. 58.

Mittel wurden in ausgewaschener und möglichst aschefreier, trockener Hefe gefunden:

48% C, 9—12% N, 6—7% H, 0,6% S.

Neuere von NÄGELI<sup>1)</sup> angestellte Analysen haben zu folgendem Resultat für untergährige Hefe geführt:

Cellulose und Pflanzenschleim der Zellmembran	37 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,
Albuminstoffe . . . . .	45 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,
Peptone . . . . .	2 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,
Fett . . . . .	5 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,
Extractstoffe (Leucin, Glycerin u. s. w.) . . .	4 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,
Asche . . . . .	7 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> .

Hefe, welche längere Zeit Gährung unterhalten hat, soll nach PASTEUR's u. A. Angaben einen erheblich niedrigeren N-Gehalt — nur 5,0 und 5,5 % — enthalten. — Die eiweissartigen Stoffe haben SCHLOSSBERGER und MULDER entweder durch Behandeln mit Kalilauge oder mit Essigsäure zu isoliren gesucht, und haben dabei in der That eine den Proteinstoffen zukommende Zusammensetzung ein isolirten Stoffe gefunden; neuerdings wurde aus Hefezellen durch Auskochen mit verdünnter Salzsäure und Fällen mit Steinsalz ein Eiweisskörper erhalten, welcher Mykoprotein genannt ist und bei der Zusammensetzung der Spaltpilze eine bedeutende Rolle spielt; seine Menge ist jedoch für Hefe noch nicht bestimmt (NENCKI).<sup>2)</sup> Wurde der nach dem Behandeln mit Kalilauge gebliebene Rückstand mit Essigsäure und Wasser behandelt, so blieb eine Substanz übrig, die bei der Analyse: 44,9 % C, 6,7 % H, 0,5 % N (nach späterer Analyse von NÄGELI und LÖW 41,4 % C und 6,6 % H)<sup>3)</sup> ergab und sich somit als ziemlich reine Cellulose darstellte. Dieselbe liess sich durch Kochen mit Schwefelsäure in gährungsfähigen Zucker umwandeln und löste sich nicht in Kupferoxyd-Ammoniak, war also von der gewöhnlichen Cellulose etwas verschieden.

Der Wassergehalt frischer Hefe beträgt, sofern dieselbe vegetationsfähig war, 40—80 %; bei höherem oder niederem Wassergehalt ist die Hefe nicht mehr als intact und vermehrungstüchtig anzusehen.

Beachtenswerth ist, wie gegenüber den Schimmelpilzen sich die Relation zwischen N-losen, celluloseartigen Bestandtheilen und Proteinstoffen verändert; bei der Hefe finden wir 37 % Cellulose und 47 % Eiweissstoffe; bei den Schimmelpilzen circa 50 % Cellu-

1) NÄGELI, Sitzungsab. d. bayr. Akad. d. Wiss. 1878. Mai.

2) NENCKI, Beiträge zur Biologie der Spaltpilze. 1880. S. 48.

3) Journ. f. prakt. Chem. Nr. 5. Bd. 17.

lose und 29 % eiweissartige Stoffe. — Allerdings ist es nicht ganz richtig, die gefundene N-Menge auf Eiweiss umzurechnen; ein Theil des N's gehört vielmehr anderen Substanzen, wie Leucin, Tyrosin u. s. w. an, die durch Extrahiren mit Eiswasser aus frischer Hefe in gewisser Menge zu erhalten sind (siehe über diese weiter unten); und ebenso finden sich ausser Cellulose noch gummiartige Körper, ferner Glycerin, Bernsteinsäure u. s. w., als C-haltige, N-freie Stoffe; aber für gewöhnlich kommen alle diese Substanzen in zu geringer Menge vor, um auf das Verhältniss zwischen Cellulose und Protein merkbar einzuwirken.

Für die Hefenasche liegen ebenfalls mehrfache Analysen vor, deren zuverlässigste folgende Resultate ergeben haben (MITSCHERLICH):

Asche von obergähriger Hefe		Asche von untergähriger Hefe	
Kali . . . . .	38,8%	. . . . .	28,3%
Phosphorsäure . . . .	53,9%	. . . . .	59,4%
Kalk . . . . .	1,0%	. . . . .	4,3%
Magnesia . . . . .	6,0%	. . . . .	8,1%
Kieselsäure . . . . .	Spuren	. . . . .	—

Die Asche ist demnach gegenüber derjenigen der Schimmelpilze namentlich durch einen viel höheren Gehalt an Phosphorsäure ausgezeichnet, was dem höheren Eiweissgehalt vollkommen entspricht.

2) Die Nährstoffe der Sprosspilze. Bei der Untersuchung der Ernährung und der Nährstoffe der Hefepilze ist es nothwendig zu beachten, dass sich diese Begriffe nicht etwa mit dem der Gährung und der Gährstoffe decken. Die Gährung verläuft in gewisser Beziehung unabhängig von der Ernährung der Hefe; sie gehört nicht nothwendig zum Stoffwechsel der Hefe, sondern bildet nur eine gelegentliche Ausdehnung und Complication desselben, welche man zweckmässig zunächst ganz unberücksichtigt lässt, wenn man die Art der nothwendigen Nährstoffe und ihre Verwendung in der Hefezelle kennen lernen will. Erst in den neueren Versuchsreihen ist diese Trennung richtig durchgeführt, während frühere Beobachter Gährung und Hefe-Wachsthum stets mit einander verknüpften. Ferner sind die neueren namentlich von NÄGELI angestellten Versuche deshalb einwandfreier, weil in denselben auf möglichste Herstellung reiner Hefeculturen geachtet wurde.<sup>1)</sup>

1) Vgl. PASTEUR, Ann. d. Chim. et de Phys. (3). Bd. 58. — DUCLAUX, Thèses présent. à la fac. de sc. de Paris 1865. — DUBRUNFAUT, Comt. rend. Bd. 73. — SCHÜTZENBERGER, Comt. rend. Bd. 78. — MAYER, Untersuchungen über die alkoholische Gährung u. s. w. 1869. — Landwirthsch. Versuchsstat. Bd. 14. — MACH, Annal. d. Oenologie. Bd. 4. — NÄGELI, Theorie der Gährung. 1879. — Untersuchungen über niedere Pilze. 1882.



Bezüglich ihres Bedarfes an Nährstoffen schliessen sich die Hefepilze grossentheils eng an die Schimmelpilze an, so dass das dort Hervorgehobene fast durchweg auch hier Geltung hat. Der Stickstoff wird den Hefepilzen, entsprechend ihrem höheren N-Gehalt, in besonders reichlicher Masse zugeführt werden müssen. Am günstigsten wirken lösliche, leicht diffundirende Eiweissstoffe, namentlich Peptone; Ammoniaksalze, substituirte Ammoniake und die anderen bei den Schimmelpilzen aufgeführten N-haltigen Verbindungen können die Stelle der Proteinstoffe vertreten; aber wenn anhaltend ausschliesslich Ammoniaksalze als N-Quelle geboten werden, so scheinen die Hefepilze zu degeneriren, indem ihre Substanz fettreicher und N-ärmer wird; diese Degeneration tritt um so leichter ein, wenn noch sonstige Lebensbedingungen, z. B. der freie Sauerstoff, fehlen (NÄGELI). Unter sonst gleichen Umständen haben Peptone als N-Quelle eine etwa 4mal günstigere Wirkung als z. B. weinsaures Ammon. Einen wesentlichen Unterschied gegenüber den Schimmelpilzen bilden die Hefezellen bezüglich der Nitrate; diese erweisen sich zur Ernährung der letzteren durchaus ungeeignet und können nicht als N-Quelle dienen. — Der Kohlenstoff verhält sich ganz wie bei den Schimmelpilzen; als Quellen desselben sind vor allem Zucker, dann Mannit, Glycerin, Weinsäure u. s. w. geeignet. Für *Mycoderma vini* scheint Alkohol ein fast unersetzbares Nährmaterial zu bilden, der höchstens durch äpfelsaure Salze vertretbar sein soll (SCHULTZ, vgl. S. 170). — Auch bezüglich des Wasserstoffs, gebundenen Sauerstoffs und Schwefels hat sich bis jetzt keine bemerkenswerthe Differenz gegenüber den Schimmelpilzen ergeben. Von Mineralsubstanzen sind wiederum Kali, Phosphorsäure und Calcium vor allem unentbehrlich; einen merkwürdig günstigen Einfluss hat das Vorhandensein einer grösseren Menge von Dikaliumphosphat (circa 20 %).

Wesentlich anders wie bei den Schimmelpilzen verhält sich der Sauerstoff gegenüber den Hefepilzen. Im Ganzen ist der Zutritt freien Sauerstoffs von sehr günstiger Wirkung auf das Wachstum und die Vermehrung der Hefezellen; mit sauerstoffhaltigem Wasser oder mit Oxyhämoglobin in Berührung gebracht, nimmt die Hefe, wie SCHÜTZENBERGER gezeigt hat, sehr begierig den Sauerstoff auf; und unter sonst gleichen Umständen wird die beste Ernte von Hefe erzielt, wenn ein gleichmässiger Luftstrom durch die Nährflüssigkeit geleitet wird. Es kann aber auch ohne Zutritt von Sauerstoff Vermehrung der Hefe stattfinden, freilich nur dann, wenn die übrigen Nährstoffe in günstiger Form geboten sind und wenn die

Hefezellen gleichzeitig Gährthätigkeit entfalten. So gestattet eine Peptonlösung oder Hefeabsud mit 1—10% Zucker und 0,5% Phosphorsäure versetzt, auch ohne Luftzutritt lebhafte Vermehrung der Hefe; weniger energisch ist das Wachsthum, wenn statt des Peptons Fleischextract, Harnstoff oder Ammoniaksalze mit Zucker gemischt sind; dagegen bleibt die Hefevegetation völlig aus oder bleibt äusserst geringfügig, wenn der Zucker ganz fehlt oder durch andere nicht so leicht gährungsfähige Körper, wie Glycerin, Mannit u. s. w. ersetzt wird. In allen Fällen geht Hand in Hand mit der ohne Sauerstoffzutritt erfolgten Vermehrung der Hefe eine Vergährung des Zuckers, und die Gährthätigkeit scheint geradezu die Wirkung des freien Sauerstoffs zu ersetzen. — Diese Entbehrlichkeit des Sauerstoffs beeinflusst natürlich auch das Vorkommen und die Fundorte der Hefe; so wird sie im Innern von Früchten vegetiren können, vorausgesetzt nur, dass diese gährungsfähigen Zucker enthalten und die übrigen Bedingungen zur Entfaltung einer Gährthätigkeit vorhanden sind.

Auch in der Concentration und Reaction ergeben sich einige Differenzen zwischen Schimmel- und Hefepilzen. Letztere vertragen nicht so starke Concentration des Nährgemisches wie die Schimmelpilze; im übrigen ist auch hier das Optimum des Wassergehalts ganz abhängig von der Art der übrigen Nährstoffe; schlecht nährnde Verbindungen erfordern im Allgemeinen eine grosse Verdünnung ( $\text{NH}_3$ -Salze dürfen nur in etwa 1%igen Lösungen geboten sein), während Zucker beispielsweise noch bis zu 35% im Nährgemisch enthalten sein darf, ohne dass die Hefevegetation aufhört.

Bezüglich der Reaction sind die Hefepilze den Schimmelpilzen darin ähnlich, dass sie ziemlich stark saure Reaction ohne Schaden vertragen; doch liegt die obere Grenze des unschädlichen Säureüberschusses niedriger wie bei den Schimmelpilzen, so dass durch starkes Ansäuern (5% Weinsäure, 1% Phosphorsäure) die Entwicklung der Schimmelpilze gegenüber den Sprosspilzen begünstigt wird. Sehr empfindlich scheint die Hefe gegen überschüssiges Alkali zu sein, so dass selbst Spuren desselben ihrer Vegetation hinderlich werden (DUMAS, MAYER, S. 152).

3) Sonstige Lebensbedingungen der Hefepilze. Auch die übrigen Factoren, welche auf die Wachsthumsergie der Pilze von Einfluss sein können, sind bei der Hefe zum Theil genauer erforscht. — Erhöhter Druck, Licht, Electricität sind, soweit eine besondere Prüfung angestellt wurde, ohne Einfluss auf die Vegetation der Hefe gefunden. Dass mechanische Bewegung der Nährlösung speciell auf Hefe ungünstig wirkt, ist neuerdings von HOPPE-SEYLER

beobachtet; jedoch beschränkte sich diese Untersuchung nur auf das Verhalten der Gährthätigkeit der Hefe, und ausserdem waren die Hefeculturen stark mit Spaltpilzen verunreinigt. Als bedeutsames Moment auch für die Entwicklung der Hefe zeigt sich die Temperatur. Das Optimum derselben scheint bei  $25-30^{\circ}$  zu liegen; doch ist es selbstverständlich von der sonstigen Beschaffenheit der Nährlösung abhängig. Ueber das Optimum hinaus scheint dann die Wachstumsenergie rasch abzunehmen und bei etwa  $53^{\circ}$  zu sistiren; bei Erniedrigung der Temperatur kommt es zu einer langsameren Abnahme des Wachstums, so dass selbst in der Nähe des Gefrierpunkts noch geringfügige Vegetation stattfindet.

Als besonderer Factor kommt bei denjenigen Hefepilzen, welche Gährung zu erregen vermögen, noch eben diese Gährthätigkeit in Betracht. Erfahrungsgemäss geht mit der Energie der Gährung die Entwicklung der Hefezellen parallel; ferner scheint die Hefe, wenn Zucker in der Nährlösung enthalten ist, sich erheblich rascher zu vermehren, als wenn nicht durch Hefe vergärbare Stoffe, wie Glycerin, geboten sind. Letzteres zeigt sich aber bei anderen, nicht gährungserregenden Pilzen als ebenso guter Nährstoff wie Zucker; so dass also wohl der Schluss gezogen werden darf, dass die Gährthätigkeit selbst im Stande ist, den Hefezellen eine gewisse bei ihrem vegetativen Leben verwertbare Summe von Energie zuzuführen (NÄGELI).

Endlich spielt auch bei dem Gedeihen der Hefepilze die gleichzeitige Ansiedlung anderer Pilze und die Concurrenz mit diesen eine bedeutsame Rolle. Namentlich Spaltpilze sind vermöge ihrer rascheren Vermehrung leicht geeignet, die Hefepilze nur zu einer beschränkten Entwicklung kommen zu lassen; jedoch ist auch hier das Resultat wieder abhängig von der ganzen Summe der Lebensbedingungen, die leicht den Sprosspilzen günstiger sein und dadurch einen Ersatz für ihre geringere Wachstumsenergie bieten können. In erster Linie kommen auch hier die Concentration und Reaction des Nährmediums in Betracht; zuweilen auch die Temperatur, deren höhere Grade z. B. gegen einen Sieg mancher concurrirender Schimmelpilze, wie *Penicillium* schützen. Ausserdem scheint wiederum die Gährthätigkeit von eigenthümlichem Einfluss auf die Concurrenz der Hefe zu sein. Bringt man nämlich in eine neutrale zuckerhaltige Nährlösung eine ganz geringe Menge Hefe und sorgt nicht für völlige Abhaltung der Spaltpilze, so pflegen sich letztere reichlich zu vermehren, und man bekommt eine stark verunreinigte Hefecultur oder gar ein Vorherrschen der Spaltpilze. Steigt man aber mit der Quan-



tität der ausgesäten Hefe auf ein gewisses Mass — für 1 Liter Nährlösung 1,7 Grm. Trockensubstanz oder 10 Cem. dicke Hefemasse —, so vermehrt sich nur die Hefe und die Spaltpilze kommen kaum zur Entwicklung. Es lässt sich zeigen, dass diese Erscheinung nicht etwa in einer Ausscheidung von den Spaltpilzen schädlichen Stoffen durch die Hefe beruht, sondern man muss vermuthen, dass die Gährungsbewegung es ist, welche die Vermehrung der Spaltpilze hindert. Damit stimmt die Beobachtung überein, dass die Reincultur der Hefe um so sicherer gelingt, je rascher und vollständiger nach der Einsaat die Gährung beginnt, dass sie aber unabhängig ist von der Zahl der gleichzeitig hineingelangten Spaltpilze. Dadurch erklärt es sich ferner, warum die gewöhnliche Bierhefe so relativ frei von Spaltpilzen ist und warum bei dem richtig geleiteten Brauprocess keine Störung durch Spaltpilzentwicklung zu befürchten ist (NÄGELI)<sup>1)</sup>.

4) Bedingungen der Sporenbildung und Sporenkeimung. Im Gegensatz zu den höheren Pflanzen und auch noch zu den Schimmelpilzen sind die Spross- und Spaltpilze dadurch ausgezeichnet, dass sie eine sehr grosse Neigung besitzen, die gebotenen Nährstoffe zu einer unbegrenzt fortlaufenden rein vegetativen Zellvermehrung zu verwenden, ohne eine eigentliche Fructification zu liefern. In adäquatem Nährmedium treibt die Hefe durch Sprossung immer neue Zellen, theilen sich die Spaltpilze ins ungemessene, einem enorm entwickelten Baum ohne Früchte vergleichbar. Nur dann, wenn die Nährbedingungen erheblich ungünstiger werden, wenn einer der wichtigsten Nährstoffe zu fehlen beginnt, erfährt die gewöhnliche Art der Vermehrung eine Unterbrechung; der Pilz flüchtet gewissermassen den Rest der ausreichenden Nährstoffe in eine haltbarere Zellenform, die ein gänzliches Versiegen der Nährstoffe zu ertragen und demnächst selbst nach langer Pause in neuem Nährmedium eine neue Vegetation hervorzurufen vermag.

Für die Hefe sind die Bedingungen der Sporenbildung besonders dann gegeben, wenn das Nährsubstrat sehr arm an Nährstoffen, besonders an Zucker, oder sehr verdünnt, dann aber so gewählt wird, dass (wie bei Schimmelpilzen) gleichzeitig dem Sauerstoff der Luft freier Zutritt gestattet und die Wasserverdunstung beschränkt ist. Wird auf ausgekochten dünnen Abschnitten von Mohrrüben, oder auch auf angefeuchtetem Gips Hefebrei ausgestrichen und dann in feuchtem Raum gehalten, so erfolgt nach wenigen Tagen die oben S. 83 beschriebene Sporenbildung der Hefezellen; dasselbe wird

---

1) NÄGELI, Theorie der Gährung. 1879. S. 77.



erzielt, wenn eine mit Hefe besäte Zuckerlösung durch täglichen Wasserzusatz mehr und mehr verdünnt wird. — Die gebildeten Sporen können dann längere Zeit aufbewahrt werden und austrocknen, ohne ihre Keimfähigkeit zu verlieren.

Die Bedingungen der Keimung dieser Sporen sind ähnlich wie bei den Schimmelsporen: die Nährstoffe können für die ersten Sprossungen fehlen; dagegen ist Feuchtigkeit und freier Sauerstoff unbedingt nöthig, so dass also in Bezug auf letzteren ein wesentlicher Unterschied zwischen der Sprossvegetation und der Fructification der Hefe bestehen würde. Ausserdem ist dann auch hier wieder die Temperatur von massgebendem, aber noch nicht näher quantitativ bestimmtem Einfluss.<sup>1)</sup>

### c) Lebensbedingungen der Spaltpilze.

1) Chemische Zusammensetzung der Spaltpilze. Um die Spaltpilze isolirt von der Nährflüssigkeit zu erhalten verfährt man nach NENCKI<sup>2)</sup> so, dass man die Flüssigkeit mit 2—3% freier Salzsäure ansäuert und aufkocht; die Bakterienmassen werden dann coagulirt und lassen sich gut abfiltriren. Dabei müssen dann aber Nährlösungen vermieden werden, aus welchen durch dieses Verfahren Eiweiss abgeschieden werden könnte, und deshalb sind nur einige in bestimmten geeigneten Nährlösungen cultivirbare Spaltpilze bisher analysirt. Für Spaltpilze, die in 2% iger Gelatinelösung (oder auch in Lösung von schleimsaurem Ammoniak) gezüchtet waren, fand NENCKI folgende Zusammensetzung, und zwar angeblich für die verschiedenen Stadien ihrer Entwicklung, welche mit Bildung einer sehr schleimigen Zoogloea beginnen soll:

	Reine Zoogloeamasse	Zoogloeamasse mit entwickelten Bakterien	Reife Bakterien
Wassergehalt . . . .	84,81 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	84,26 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	83,42 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
In der wasserfreien Substanz:			
Eiweiss . . . . .	85,76 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	87,46 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	81,20 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
Fett . . . . .	7,89 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	6,41 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	6,04 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
Asche . . . . .	4,20 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	3,04 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	4,72 <sup>0</sup> / <sub>9</sub>
Nicht bestimmter Rest	2,15 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	3,09 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	5,04 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>

Die Eiweisssubstanz wurde grösstentheils aus einem Körper gebildet, der durch einige Reactionen (z. B. Nichtfällbarkeit durch Alkohol), namentlich aber durch seine elementare Zusammensetzung von anderen Proteinstoffen verschieden und von NENCKI Mykoprotein

1) RUSS, Annalen der Oenologie. Bd. 2. — Botan. Zeit. 1873.

2) NENCKI, Beiträge zur Biologie der Spaltpilze. 1880.

genannt ist. Derselbe enthielt 52,32% C, 7,55% H, 14,75% N; keinen Schwefel und keinen Phosphor (letztere beiden Angaben bedürfen wohl noch der Bestätigung); durch Schmelzen mit Aetzkali konnten Phenol, Skatol, Indol, reichliche Mengen von Fettsäuren, namentlich Valeriansäure, und Leucin aus dem Mykoprotein gewonnen werden.<sup>1)</sup>

Nach diesen Analysen würde die Relation zwischen Eiweissstoffen und celluloseähnlichen Körpern, welche schon bei den Hefepilzen sich bedeutend zu Gunsten der ersteren ändert, bei den Spaltpilzen eine noch weit erheblichere Alteration in demselben Sinne erfahren, so dass die N freien Stoffe vollständig zurücktreten und eiweissartige Substanzen fast die ganze Körpermasse der Spaltpilze ausmachen. Allerdings liegen von NÄGELI und LÖW Analysen anderer Spaltpilze vor, welche von den NENCKI'schen Resultaten zum Theil erheblich abweichen. Für eine in weinsaurem Ammoniak gezogene *Micrococcus*vegetation ergaben sich 10,65% N und 6,94% Asche; und für Essigmutter, welche aus einer zähen Gallerte mit eingebetteten kurzen Stäbchen bestand, fanden sich 98,3% Wasser und in der Trockensubstanz nur 1,82% N und 3,37% Asche, so dass also hier vorzugsweise N-freie Cellulosesubstanz vorliegen müsste. Es bleibt abzuwarten, in wie weit fernere Analysen Aufklärung über diese Differenzen bringen. — Aschenanalysen von Spaltpilzen sind bisher noch nicht veröffentlicht; doch ist die Zusammensetzung der Asche vermuthlich derjenigen der Hefeasche ähnlich.

2) Die Nährstoffe der Spaltpilze. Im Ganzen gleichen auch die Nährstoffe und Lebensbedingungen der Spaltpilze denen der Schimmelpilze; nur zeigen die verschiedenen Arten der Spaltpilze oft so differente Bedürfnisse, dass ein viel detaillirteres Studium für die Erkenntniss derselben erforderlich ist. Späteren Versuchen muss daher noch eine weitgehende Ausarbeitung dieses Capitels vorbehalten bleiben.

Den Stickstoff<sup>2)</sup> beziehen auch die Spaltpilze am besten von diffusiblen Eiweissstoffen; weniger günstig sind Ammoniaksalze, doch werden dieselben relativ besser vertragen als bei den Sprosspilzen. Die übrigen Nhaltigen Verbindungen scheinen ungefähr die für die Schimmelpilze angegebene Scala einzuhalten; auch aus Nitraten kann der N entnommen werden, und zwar konnte in den betreffenden Ver-

1) NENCKI, Journ. f. prakt. Chem. N. F. Bd. 23.

2) Vgl. namentlich NÄGELI, l. c. — COHN, Beiträge. Bd. I. Hft. 2. — BUCHOLTZ, Arch. f. exper. Path. Bd. 7. S. 81. — MAYER v. KNIERIM, Landw. Versuchsstat. Bd. 16. (Essigpilz).

suchen die allmähliche Reduction der Salpetersäure zu salpetriger Säure und schliesslich zu Ammoniak constatirt werden. — Für die Deckung des Kohlenstoffbedarfs reichen ausser Zucker, zuckerähnlichen Körpern und Glycerin namentlich die verschiedensten fettsauren Salze aus, so die Alkaliverbindungen der Weinsäure, Citronensäure, Aepfelsäure, Schleimsäure, Milchsäure, Essigsäure u. s. w.; ferner ist namentlich zu erwähnen der Aethylalkohol, der das günstigste Nährmaterial für den Essigsäurepilz bildet und der bis zu 10% in der Nährlösung enthalten sein darf. — Bezüglich der sonstigen Nährstoffe, und auch der Mineralsubstanzen sind noch keine wesentlichen Differenzen gegenüber den anderen Pilzen constatirt worden.

Ein je nach den verschiedenen Spaltpilzarten äusserst differentes Verhalten zeigt der Sauerstoff. PASTEUR hat diesen bereits von ihm beobachteten Unterschieden Rechnung getragen durch seine Einteilung der Pilze in Aëroben und Anaëroben; und verschiedene neuere Forschungen haben bestätigt, dass in der That einzelnen Spaltpilzen der freie Sauerstoff zu ihrer vollen Entwicklung durchaus nöthig ist, während andere beim Zutritt freien Sauerstoffs nicht zu wachsen vermögen. Die jetzt vorliegenden Erfahrungen drängen nun etwa zu der folgenden etwas abweichenden Auffassung der Rolle des freien Sauerstoffs: die Spaltpilze gleichen darin den Hefepilzen, dass die Gährthätigkeit für ihren Sauerstoffbedarf von grösster Bedeutung ist. Findet nämlich gleichzeitig Gährthätigkeit statt, so kann diese die Sauerstoffzufuhr entbehrlich machen. Unerlässliche Bedingung für das Leben der Spaltpilze ohne Sauerstoff ist also stets gleichzeitige Gährung; vermögen die Spaltpilze keine Gährung zu erregen, oder leben sie zufällig unter solchen Verhältnissen, dass keine Gährung stattfinden kann, so ist zu ihrem Wachsthum freier Sauerstoff durchaus nothwendig. — Um umfangreiche Gährungen auszuführen, sind dann noch einige weitere Bedingungen erforderlich, namentlich z. B. gute N-Nährstoffe (wie bei der gährenden Hefe); so dass gleichzeitig die Existenzfähigkeit ohne Sauerstoff auch von diesen Bedingungen mit abhängig ist.

Es lassen sich nun 3 Gruppen von Spaltpilzen unterscheiden. Einmal solche, deren Entwicklung bisher nur in gährenden Gemischen bei Sauerstoffabschluss beobachtet wurde. Die specifische Gährung findet nur bei fehlendem Sauerstoff statt; und diese Gährungsgemische allein bieten wiederum die Bedingungen zur Entwicklung des Pilzes dar. Zutritt von Sauerstoff hemmt die Gährung und hemmt gleichzeitig die Weiterentwicklung des Pilzes. Diese Art von Spaltpilzen sind dann die eigentlichen Anaëroben; zu ihnen gehört beispielsweise

der *Bacillus butyricus*. — Man muss jedoch festhalten, dass auch für diese Anaëroben möglicherweise noch Nährmedien gefunden werden, welche ihnen das Wachsthum ermöglichen, ohne dass sie gleichzeitig Gährung erregen; in diesem Falle würden dann jedenfalls auch sie des freien Sauerstoffs bedürfen.

Andere Spaltpilze lassen sich leicht auf nicht gährenden Nährmedien cultiviren; unter bestimmten Bedingungen aber und wenn gährefähige Substanzen vorhanden sind, erregen sie Gährung. Diese Pilze können im letzteren Fall auch ohne Sauerstoffzutritt wachsen; aber Gährung und Wachsthum werden hier durch freien Sauerstoff meist nicht gestört, sondern sogar gefördert. Wachsen sie ohne Gährung auf lediglich nährendem Substrat, so ist natürlich der Zutritt von Sauerstoff für ihr Wachsthum durchaus nöthig. In dieser Weise verhält sich z. B. vermuthlich der Pilz der Milchsäuregährung und zahlreiche andere Gährungspilze.

Ob es endlich drittens Spaltpilze giebt, denen gar keine Gährwirkung zukommt, ist zweifelhaft; vielleicht sind nur die dem specifischen Pilz adäquaten vergärbaren Substanzen noch unbekannt. Jedenfalls aber können diejenigen Spaltpilze, denen bis jetzt keine Gährwirkung zugeschrieben wird, selbstverständlich nur unter Sauerstoffzutritt cultivirt werden (so der *Bacillus subtilis*). Und an diese stets sauerstoffbedürftigen Spaltpilze schliessen sich noch diejenigen an, welche sogenannte Oxydationsgährungen hervorrufen, d. h. Gährungen, zu deren Zustandekommen der Sauerstoff unerlässlich ist, wie z. B. die Essiggährung. Der Essigpilz kann dementsprechend, mag er in gährendem oder nicht gährendem Gemisch cultivirt werden, stets nur mit Hülfe freien Sauerstoffs wachsen (vgl. unten). Für manche Spaltpilze fehlt es noch an ausreichenden Untersuchungen, um sie schon jetzt mit Bestimmtheit der einen oder anderen Classe einzureihen und so ihr Sauerstoffbedürfniss zu fixiren; einigen ist vermuthlich nur eine gewisse geringe Spannung des Sauerstoffs völlig adäquat.

Ueber die günstigsten Mengenverhältnisse der einzelnen Nährstoffe lässt sich bei dem sehr wechselnden Bedarf, den verschiedene Spaltpilzarten zeigen, wenig allgemein Gültiges sagen. Der Wassergehalt des Nährmediums muss im Allgemeinen ein sehr grosser, die Concentration eine geringe sein. Zersetzliche Substanzen, denen relativ wenig Wasser entzogen wird, können dadurch schon geschützt sein gegen Spaltpilzinvasionen, während sie noch Sprosspilzen und namentlich Schimmelpilzen günstigen Boden bieten. Die Grenze der zulässigen Concentration, die selbstverständlich nach der Art der Nährstoffe variiren muss, ist noch wenig festgestellt; ebensowenig



das Optimum des Wassergehaltes. Dass letzterer im allgemeinen in weiten Grenzen schwanken kann, geht schon daraus hervor, dass Spaltpilze gleich gut auf festweichen Nährböden mit circa 70 % Wasser, in concentrirten Flüssigkeiten mit 15—20 % festen Bestandtheilen und in sehr verdünnten nur Spuren gelöster Stoffe enthaltenden Nährlösungen gezüchtet werden können.

Säure- und Alkaliüberschuss können beide auf Spaltpilze schädlich wirken oder ihre Entwicklung begünstigen; doch ist es namentlich der erstere, der leicht zu einer Störung des Wachstums führt. Darin besteht demnach für viele Spaltpilze ein wesentlicher Unterschied gegenüber den Schimmel- und Sprosspilzen; und es ist daher in der sauren Reaction des Nährmediums oft ein vortreffliches Mittel geboten, um die Cultur der letztgenannten Pilze gegen das Eindringen zahlreicher Spaltpilzarten zu schützen. Manche, so der *Bacillus subtilis*, der Milzbrandbacillus u. s. w., sind schon gegen geringen Säureüberschuss sehr empfindlich; aber es giebt auch solche Spaltpilze, welche wie der *Bacillus butyricus* oder der Essigsäurepilz, stark saure Reaction ohne Schaden vertragen; ja manche gedeihen überhaupt nur bei einem gewissen Säureüberschuss im Nährmedium (so der *Bacillus* der blauen Milch, der Essigsäurepilz erst von 2 % Essigsäure an). Diesen letzteren ist daher wieder umgekehrt der Alkaliüberschuss schädlich, der im Allgemeinen durchaus keinen so nachtheiligen Einfluss auf die Spaltpilze hat wie die freien Säuren, und der von einigen Pilzen, z. B. von *Micrococcus ureae*, sogar bis zu ausserordentlich hohen Graden der Alkalescenz vertragen wird. Einige Spaltpilze zeigen eine solche Indifferenz gegenüber der Reaction des Nährmediums, dass sie (wie *Ascococcus*) auf stark saurem Medium ihre Entwicklung beginnen, dann die Reaction durch ihren Stoffwechsel in eine alkalische verwandeln und nun bei starkem Alkaliüberschuss weiter gedeihen.

3) Sonstige Lebensbedingungen der Spaltpilze. Licht scheint nach den vorliegenden Versuchen nicht zu den allgemeinen Lebensbedingungen der Spaltpilze zu gehören; die von ENGELMANN neuerdings gemachte Beobachtung, dass eine grüne Bakterienart sich bei O-Mangel im Lichte anhäuft, ist nicht mit Sicherheit auf einen Spaltpilz zu beziehen.<sup>1)</sup> Ebenso ist Elektricität, so weit diese in Frage kommen kann, ohne Einfluss; kräftige elektrische Ströme wirkten hemmend z. B. auf die Entwicklung von Mikrokokken-culturen.<sup>2)</sup> Druckänderungen werden von manchen Spaltpilzen in ausgezeich-

1) Pflüger's Arch. Bd. 26. S. 537. — Botan. Zeitg. 1882.

2) COHN und MENDELSSOHN, Cohn's Beiträge. Bd. 3. Heft 1.

neter Weise ertragen, wie dies z. B. für den *Bacillus butyricus* nachgewiesen ist; ob andere Spaltpilze in dieser Beziehung empfindlicher sind, ist noch unbekannt, da die meisten der angestellten Versuche nur excessive Druckänderungen betrafen, bei denen dann noch andere Factoren mit ins Spiel kommen mussten.

In gewissem Grade scheint Ruhe und Fehlen mechanischer Erschütterungen Lebensbedingung der Spaltpilze zu sein, wenngleich die in dieser Richtung unternommenen Versuche nicht völlig eindeutig sind. Fortgesetzte ruhig fliessende Bewegung der Nährmedien scheint die Entwicklung der Spaltpilze nicht zu hemmen<sup>1)</sup>; dagegen wurde beobachtet, dass continuirliche starke Erschütterungen, durch Stösse mittelst eines besonderen Motors hervorgerufen<sup>2)</sup>, oder auch durch Schallwellen von hinreichender Intensität, welche durch die Nährlösung hindurch geleitet wurden<sup>3)</sup>, die Entwicklung erheblich stören. Neuerdings sind allerdings in einer Versuchsreihe abweichende Resultate erhalten.<sup>4)</sup>

Weiter ist eine gewisse mittlere Temperatur Bedingung der Spaltpilzentwicklung. Aber sowohl das Optimum der Temperatur wie deren obere und niedere Grenze liegen bei differenten Spaltpilzarten ganz verschieden und sind ausserdem abhängig von den sonstigen Lebensbedingungen, namentlich von der Beschaffenheit der Nährstoffe. Nach EIDAM'S Versuchen über die Entwicklung von *Bacterium termo* in COHN'scher Nährlösung beginnt diese bei  $+5\frac{1}{2}^{\circ}$ , nimmt mit steigender Temperatur erst langsam, von  $+10^{\circ}$  an rasch zu, erreicht zwischen  $30$  und  $35^{\circ}$  das Optimum und nimmt dann sehr schnell wieder ab, um bei  $40^{\circ}$  schon völlig aufzuhören.<sup>5)</sup> Für den Essigsäurepilz liegt das Optimum zwischen  $20$  und  $30^{\circ}$ ; unter  $10^{\circ}$  geht die Entwicklung mit äusserster Langsamkeit vor sich, über  $35^{\circ}$  nimmt sie ausserordentlich rasch ab, um wenige Grade darüber völlig aufzuhören.<sup>6)</sup> Der *Bacillus* der Tuberkulose wächst dagegen nur bei einer Temperatur zwischen  $30$  und  $41^{\circ}$ , am besten bei  $37-38^{\circ}$ . Schon aus diesen Beispielen geht zur Genüge hervor, dass die verschiedenen Arten der Spaltpilze hinsichtlich ihres Temperaturbedürfnisses erheblich variiren, und es lässt sich nur gegenüber dem Tem-

1) HOPPE-SEYLER, Festschrift u. s. w. Ueber die Einwirkung des Sauerstoffs auf Gährungen. 1881.

2) HORVATH, Pflüger's Archiv f. Physiol. Bd. 17.

3) REINKE, Ebenda. Bd. 23.

4) TUMAS, Petersburger med. Woch. 1881.

5) EIDAM, Cohn's Beiträge. I. 3. S. 209.

6) MAYER, Gährungschemie. S. 178.

peraturbedarf der Schimmel- und Sprosspilze betonen, dass im Allgemeinen die für eine Spaltpilzentwicklung günstigste Temperatur höher wie bei jenen und der Temperatur des menschlichen Körpers näher liegt.

Die Gährthätigkeit spielt bei dem Leben der Spaltpilze vermuthlich dieselbe Rolle wie bei den Hefepilzen. Bei gährefähigen Spaltpilzen scheint dieselbe, sobald eine gewisse Gährungsintensität erreicht ist, das Wachsthum der Gährungserreger zu begünstigen, während andere gleichzeitig vorhandene Spaltpilze in ihrer Entwicklung gehemmt werden. Dadurch äussert eine Gährthätigkeit von bestimmter Intensität dann auch einen bedeutenden Einfluss auf die Concurrenz unter verschiedenen Spaltpilzen und auf das Zustandekommen von Reinculturen.

Im Allgemeinen sind für eine Concurrenz mit Schimmel- und Sprosspilzen die Spaltpilze im Vorthail durch ihre ausserordentlich rasche Vermehrung und durch ihre höchst energische Consumption des Nährmaterials. Nur wenn einzelne Bedingungen des Nährsubstrats so gewählt sind, dass dieselben auf die Entwicklung der Spaltpilze einen geradezu ungünstigen Einfluss äussern, während sie gleichzeitig den anderen Pilzclassen ungehemmtes Wachsthum gestatten, ist es diesen letzteren möglich, das Nährmedium zu occupiren und die Spaltpilze zu verdrängen. Wie erwähnt, sind namentlich Concentration und Reaction des Nährmediums solche Mittel, durch welche Spross- und Schimmelpilze gegenüber den Spaltpilzen in Vorthail gerathen. — Unter den Spaltpilzen selbst tragen dann die verschiedensten Factoren, namentlich Reaction, Temperatur, aber auch die relative Menge der einzelnen Nährstoffe und speciell der N-haltigen Verbindungen, ferner die Sauerstoffspannung u. a. m. dazu bei, die eine oder die andere Art zum Ueberwiegen und schliesslich zur fast alleinigen Herrschaft gelangen zu lassen.

4) Bedingungen der Sporenbildung und Sporenkeimung. In noch höherem Grade wie die Sprosspilze scheinen die Spaltpilze befähigt, adäquates Nährmaterial zu einfacher Zellvermehrung auszunutzen. Welche Bedingungen hier vorliegen müssen, um die im Ganzen seltene Erscheinung der Sporenbildung hervorzurufen, ist noch nicht völlig aufgeklärt. Der Analogie wegen sollte man vermuthen, dass auch hier eine gewisse Erschöpfung des Nährmediums die nothwendige Einleitung des Actes der Sporenbildung bildete; und in der That scheint das auch in den meisten Fällen zutreffen. Scheinbare Ausnahmen sind bis jetzt z. B. bei *Bacillus butyricus* und bei *Bacillus subtilis*, bei Milzbrandbacillen beobachtet; jedoch

wurde die directe mikroskopische Beobachtung gewöhnlich in nicht günstigen Nährmedien (Dextrinlösung, hum. aq.) angestellt und bei grösseren Culturen in besseren Nährsubstraten wurde die Sporenbildung nur an der Oberfläche beobachtet, in Schichten, die der Zufuhr frischen Nährmaterials in gewissem Grade entzogen waren. Auch genügt vielleicht das Fehlen oder die Verminderung nur eines besonders wichtigen Nährstoffes, um die Sporenbildung zu veranlassen. Möglicherweise lassen sich also bei weiteren Beobachtungen die Bedingungen der Sporenbildung bei den Spaltpilzen ähnlich denen der Sprosspilze formuliren. Eigenthümlich ist der Einfluss des Sauerstoffs auf die Sporenbildung der Spaltpilze. Während bei Schimmel- und Sprosspilzen der Sauerstoff nothwendig freien Zutritt haben muss, verhalten sich die Spaltpilze in dieser Beziehung verschieden. Die Mehrzahl scheint ebenfalls für den Act der Sporenbildung des Sauerstoffs zu bedürfen; PRAZMOWSKI bezeichnet für diese Arten das weitere Symptom als charakteristisch, dass sie im Zustand der Fructification unbeweglich sind. Einige aber — mit Bestimmtheit ist dies von *Bacillus butyricus* nachgewiesen — fructificiren nur ohne Sauerstoff und bleiben dann auch im Zustand der Fructification beweglich.

Von bedeutendem Einfluss ist auch hier wieder die Temperatur. Von den Milzbrandbacillen hat KOCH<sup>1)</sup> festgestellt, dass zur Bildung ihrer Sporen mindestens eine Temperatur von  $+ 16^{\circ}$  gehört; und zwar fand dann erst nach 7 Tagen spärliche Sporenbildung statt. Bei  $21^{\circ}$  waren 72 Stunden, bei  $25^{\circ}$  waren 35—40 Stunden und bei  $30-40^{\circ}$  etwa 24 Stunden zur Sporenbildung erforderlich; die schönsten und kräftigsten Culturen wurden zwischen  $20$  und  $25^{\circ}$  erhalten.

Ueber die Keimung der Sporen und ihre Bedingungen fehlt es noch an ausreichenden Beobachtungen. Ein gewisser Wassergehalt, eine in ziemlich engen Grenzen schwankende Temperatur werden auch hier als unerlässliche Bedingungen angenommen werden müssen.

Vom Sauerstoff ist constatirt, dass er die Keimung einiger Spaltpilzsporen, so des *Bacillus butyricus*, geradezu zu hindern vermag; während im Allgemeinen Sauerstoffzutritt für die grösste Mehrzahl der Spaltpilzsporen eben so nothwendig sein wird, wie für die keimenden Sporen der Spross- und Schimmelpilze.

## II. Lebensäusserungen der niederen Pilze.

Nachdem die Bedingungen, die zum Leben der Pilze nothwendig sind, und namentlich die Nährstoffe, die sich stets in ihrer Umgebung

1) Mittheilungen a. d. Kais. Ges. Amt. S. 65.



finden müssen, besprochen sind, wird es nunmehr die Aufgabe dieses Abschnittes sein, zu zeigen, wie die Aufnahme der Nährstoffe erfolgt, welche Umwandlungen diese Stoffe im Körper der Pilze durchzumachen haben, in welcher Weise das Wachsthum vor sich geht und wie durch die Stoffumwandlungen die Kräfte gewonnen werden, um die übrigen Leistungen der Pilze zu ermöglichen. Es liegt auf der Hand, dass dieses Thema, welches auch die specielle Thätigkeit der Pilze bei der Gährung und Krankheitserregung zu behandeln und so viel als möglich aufzuklären hat, zu den wichtigsten Capiteln gehört, welche die Lehre von den Pilzen ausmachen.

Der Stoff- und Kraftwechsel der Schimmel-, Spross- und Spaltpilze stimmt in seinen Hauptzügen so weit überein, dass eine durchweg gesonderte Behandlung der drei Classen in diesem Abschnitt nicht nothwendig erscheint; nur an einzelnen Punkten ist auf das abweichende Verhalten der einzelnen Hauptgruppen aufmerksam zu machen.

Vorausgeschickt ist eine kurze allgemeine Uebersicht des Stoff- und Kraftwechsels der niederen Pilze, und zwar in enger Anlehnung an das über die Biologie der höheren Pflanzen Bekannte; sodann sind die einzelnen Phasen der Lebensthätigkeit der Pilze erörtert; zuerst die Assimilirung der Nährstoffe, dann die Stoffumwandlung in den Pilzen und die Kraftleistungen zu denen sie durch jene befähigt werden, und drittens sind die Stoffwechselproducte und Excrete der niederen Pilze wegen ihrer hervorragenden Bedeutung gesondert zusammengestellt. Unter den Producten finden sich verschiedene isolirbare Fermente; und es erscheint daher nothwendig, im weiteren eine Uebersicht über die nicht organisirten, chemischen Fermente und über ihre Bedeutung und Wirkung an die Stoffwechselproducte der Pilze anzuschliessen. — Sodann erfordern noch zwei eigenthümliche und hygienisch besonders wichtige Phasen der Lebensthätigkeit der Pilze eingehendere Besprechung; zunächst die Gährthätigkeit und zweitens ihr parasitäres Auftreten oder die Krankheitserregung.

### *1. Uebersicht des Stoff- und Kraftwechsels der niederen Pilze.*

Für das Zustandekommen derjenigen gesetzmässigen Bewegung und Veränderung materieller Theilchen, welche das Leben der Pflanzenzelle ausmachen, bedarf es in erster Linie der Auslösung gewisser Kraftmengen; ohne diese hört jene Bewegung und damit das Leben der Pflanze auf. Ein kleiner Bruchtheil der nothwendigen Betriebskraft wird wohl durch die Osmose gedeckt; der weitaus grösste Antheil der nothwendigen Kräfte wird aber der Pflanze gegeben durch Zerspalt-

tung zusammengesetzter chemischer Verbindungen und Ueberführung der Atome in festere Bindungen, also ähnliche Umlagerungen, wie sie auch im thierischen Organismus vor sich gehen und hier die Summe von Energie entwickeln, welche zur Bestreitung der vielfachen Ausgaben des thierischen Haushalts erforderlich sind. Die Aehnlichkeit zwischen dem pflanzlichen und thierischen Lebensprocess wird dadurch nur wenig alterirt, dass die zu zersetzenden Verbindungen vom Thierkörper als solche aufgenommen, von der Pflanze aber erst durch den Chlorophyllapparat aus einfacherem Material aufgebaut werden; gerade bei den niedersten Pflanzen, den Pilzen, fehlt ja jener vorbereitende Appendix, und die Stoffe werden schon in relativ complexen Molekülen aufgenommen; — was aber durchgehends und allen gemeinsam das Leben der thierischen Zelle, der pflanzlichen, und der Pilzzelle ermöglicht, das sind jene mit Freiwerden von Energie verbundenen Zerlegungen complicirter organischer Verbindungen.

Die Zerlegungen erfolgen durch das lebende Protoplasma; letzteres kann wie es scheint einem Fermente ähnlich nach und nach grosse Mengen der geeigneten complicirten Verbindungen zerspalten. Welcher Art die direct den Angriffen des Protoplasmas unterliegenden chemischen Körper sind, und in welcher Weise die Spaltung verläuft, ist noch nicht genau bekannt; vermuthlich sind es den Proteinstoffen nahestehende, aber wohl noch complicirtere Verbindungen. Als das Product ihrer Spaltung beobachtet man sicher stets Kohlensäure, ferner einige andere unten näher zu erwähnende Stoffe; jedenfalls darf man aus der gleichzeitig frei werdenden — wenn auch geringfügigen — Wärmemenge schliessen, dass im wesentlichen solche Umlagerungen stattfinden, dass eine stärkere Bindung der Atome, eine Sättigung von Affinitäten und damit ein Freiwerden von Energie resultirt.

Dieser ganze Process, der offenbar die primäre und eigentliche Ursache des Lebens ist, wird gewöhnlich als intramolekuläre Athmung bezeichnet. Für dieselbe ist kein Sauerstoffzutritt erforderlich; sondern es ist gerade charakteristisch, dass alle Pflanzenzellen auch ohne Sauerstoffzufuhr eine Zeitlang weiterleben und weiterathmen, CO<sub>2</sub> abspalten und Wärme produciren. Wenn nur im lebendigen Protoplasma noch zersetzungsfähige Stoffe vorhanden sind, so reicht deren Zerspaltung einstweilen noch aus, um die nothwendige Betriebskraft für die sonstigen Bewegungsvorgänge im Protoplasma zu liefern, und erst nach längerer Zeit stellt sich ein Kraftdeficit ein, das zum Aufhören der Bewegungen und des Lebens führt.

Obwohl demnach die intramolekuläre Athmung die primäre, massgebende Ursache der Kraftentwicklung in der Pflanze ist, so reicht die so gewonnene Kraft doch nicht aus, um den ganzen Energiebedarf der Pflanze auf die Dauer zu decken. Dies wird vielmehr erst erreicht, wenn der Sauerstoff freien Zutritt hat und sich an der Athmung betheiligt. Die im Protoplasma zerstörten Verbindungen liefern neben  $\text{CO}_2$  eine Reihe solcher Producte, welche sich sehr leicht mit Sauerstoff verbinden. So entstehen umfangreiche Oxydationen und dabei dann eine weit bedeutendere Entwicklung von lebendiger Kraft, welche für die Lebensvorgänge in der Pflanze vollkommen und auf die Dauer ausreicht. Ihre Regulirung findet diese Kraftentwicklung aber selbstverständlich weit weniger in der Menge des zutretenden Sauerstoffs, als vielmehr in jenen Spaltungsvorgängen im Protoplasma, in der intramolekulären Athmung, welche die Sauerstoffathmung erst anregt und beherrscht.

Der gesammte Athmungsprocess, mag er mit oder ohne Sauerstoff vor sich gehen, hat offenbar einen destructiven Charakter; und es wird durchaus nöthig sein, dass eine ständige Zufuhr neuen Materials die Lücken ausfüllt, welche die spaltende Thätigkeit des Protoplasmas und die oxydirende, meist gasige Verbrennungsproducte liefernde Thätigkeit des Sauerstoffs gerissen hat. Da nun aber niemals dieselben Stoffe, welche geeignet sind im Protoplasma zerlegt zu werden, als Nahrungsmittel existiren und aufgenommen werden, muss noch ein besonderer Assimilationsprocess stattfinden, der die Ueberführung der gebotenen Nährstoffe und ihre Umwandlung in die zur Zersetzung geeigneten Verbindungen bewirkt, und der dadurch in einen scharfen Gegensatz zu dem destructiven Athmungsprocess tritt. Gewöhnlich überwiegt der Assimilationsprocess erheblich, und es findet Anlagerung neuer Körpersubstanz, Wachstum, statt; es ist dies derjenige Theil des Stoffwechsels, der meist allein ins Auge fällt und es leicht übersehen lässt, dass auch ausser für die neugebildete Substanz grosse Mengen von Nährstoffen aufgenommen werden, die der Zersetzung im Protoplasma und der Verbrennung durch Sauerstoff anheimfallen.

In genau derselben Weise wie bei den übrigen Pflanzen verläuft der Stoffwechsel der niederen Pilze. Auch hier haben wir eine fortlaufende Zerstörung organischer Substanz, meist bei Sauerstoffzutritt und dann unter dem Bilde einer vollständigen Verbrennung; auch hier muss eine Assimilirung neuer Nährstoffe das zerstörbare Material zuführen und zugleich dem Bedürfniss des Wachstums und der Vermehrung Rechnung tragen — wobei es völlig nebensäch-

lich ist, dass der Assimilationsprocess hier ohne Mithülfe eines Chlorophyllapparates verläuft und darum gewisse einfache Stoffe wie die  $\text{CO}_2$  nicht als Nährstoffe verwendet werden können. — Wie bei den höheren Pflanzen, werden auch in den niederen Pilzen durch jenen Stoffwechsel gewisse Kräfte frei, die zu den Leistungen dieser kleinsten Organismen, zu ihren Wachstums- und Bewegungsprocessen, zu der Stoffwanderung und den molekulären Bewegungsvorgängen verwandt werden können.

Freilich ist mit der Erkenntniss dieser principiellen Uebereinstimmung des Stoff- und Kraftwechsels der höheren und niedersten Pflanzen keineswegs eine detaillirte Einsicht in die biologischen Vorgänge bei den niederen Pilzen gewonnen. Nicht einmal darüber ist eine quantitative Vorstellung möglich, wie sich der destructive und der assimilirende Stoffwechsel zu einander verhalten, ob die Assimilation und namentlich die Anlagerung neuer Körpersubstanz in der Regel überwiegt oder ob auch ein wesentlicher Theil der verbrauchten Nährstoffe zur Unterhaltung des destructiven Stoffwechsels zu dienen pflegt. Im Einzelnen werden daher vielfach vorläufige Hypothesen über den Stoff- und Kraftwechsel der niederen Pilze That-sachen und sichere Resultate ersetzen müssen.

Während das thätige Protoplasma, die intramolekuläre und die Sauerstoffathmung mit ihrer Kraftentwicklung, ferner die Assimilation sehr verschiedenartiger Nährstoffe sowohl den Pilzen wie den höheren Pflanzen zukommt, tritt uns eine wesentliche Differenz beider bezüglich des Verhaltens zum Sauerstoff entgegen. Höhere Pflanzen können diesen, wie erwähnt, für längere Lebensperioden schlechterdings nicht entbehren, weil nur durch die Oxydationsvorgänge eine hinreichende Kraftmenge producirt wird; die niederen Pilze aber können zum Theil lange Zeit ohne Sauerstoffzufuhr leben; jedoch reicht auch dann nicht etwa die intramolekuläre Athmung aus, um ihren Kraftbedarf zu decken, sondern die Entbehrung des Sauerstoffs wird nur so lange ertragen, als ein Surrogat desselben vorhanden ist. Dieses wird durch die Gährung geliefert, bei welcher eine grosse Stoffmenge im nährenden Medium oberflächlich, aber so zerlegt wird, dass dabei eine Summe von Energie frei wird, welche der sonst durch die Oxydationsprocesse gewonnenen ungefähr gleichkommt. Die Gährung vermag somit vicariirend für den Sauerstoff einzutreten, und die Sauerstoffathmung und die Gährthätigkeit sind bezüglich ihrer Wirkung auf die Lebensvorgänge in den niederen Pilzen als gleichbedeutend anzusehen.

Das Wenige, was über den namentlich durch die letztgenannte



Abweichung eigenthümlichen Stoff- und Kraftwechsel der niederen Pilze bekannt ist, lässt sich etwa in den folgenden lückenhaften Ausführungen zusammenfassen, aus denen kaum die Umrisse des Bildes erkennbar sind, welches sich unter dem Einfluss späterer Forschungen wird construiren lassen.

## 2. *Die Aufnahme und Assimilirung der Nährstoffe bei den niederen Pilzen.*

Da das Eindringen der Nährstoffe bei den Pilzen gerade so wie bei jeder pflanzlichen Zelle mittelst Diösmose durch die Zellhaut und Plasmamembran erfolgen muss, sind selbstverständlich nur diejenigen Stoffe zur Aufnahme geeignet, welche in wässriger Lösung vorhanden und diffusibel sind; wo scheinbar eine Ernährung der Pilze durch feste Substanz erfolgt, da ist eine Lösung durch Secrete der Pilze vorausgegangen. Namentlich sind an diesem vorbereitenden Processe von den Pilzen ausgeschiedene chemische Fermente betheiligt, die z. B. festes Eiweiss peptonisiren und den Pilzen zugänglich machen oder Cellulose lösen und dadurch den als pflanzlichen Parasiten lebenden Pilzen Eingang verschaffen.

Die chemische Qualität der aufzunehmenden Stoffe kann wie oben ausgeführt wurde, eine sehr verschiedene sein. Schon deshalb ist zu vermuthen, dass eine Umwandlung dieser Stoffe, ein Assimilationsprocess beim Eintritt in die Pilzzellen erfolgen muss, da es keineswegs wahrscheinlich ist, dass jene differenten Verbindungen bezüglich der verschiedenen Functionen innerhalb der Zelle unter einander gleichwerthig sind. Freilich ist die Assimilation des Kohlenstoffs keine so ausgedehnte, wie bei den chlorophyllführenden Pflanzen, und namentlich kann die  $\text{CO}_2$  keine Verwendung finden. Wohl aber werden Methylamin, Essigsäure, Alkohol, Benzoësäure, Weinsäure, Leucin u. s. w., wenn sie als ausschliessliche C-haltige Nahrung geboten sind, zweifellos in complicirtere Verbindungen übergeführt; und somit wird das erste Assimilationsproduct mit einem gewissen Verbrauch an Kraft aufgebaut, der sich wohl nicht so hoch beläuft, wie bei der C-Assimilation der grünen Pflanzen aus  $\text{CO}_2$ , der aber dafür auch nicht durch die von den Sonnenstrahlen gespendete Energie, sondern durch Kräfte gedeckt wird, welche im Innern der Zelle erst durch andere Umlagerungen frei werden müssen. — Welcher Art das erste C-haltige Assimilationsproduct zu sein pflegt, darüber sind einstweilen nur Vermuthungen möglich. Bei höheren chlorophyllführenden Pflanzen beobachtet man deutlich Stärke als eines der ersten Bildungsproducte; bei niederen Pilzen fehlt diese aber

wie es scheint mit wenigen Ausnahmen gänzlich (nur bei einigen Bacillenarten und *Leptothrix*, vgl. S. 121). Aus der verschiedenen Nährfähigkeit der C-Verbindungen lässt sich nach NÄGELI vielleicht schliessen, dass das erste Assimilationsproduct aus 3 verketteten C-Atomen besteht, an denen H- und O-Atome hängen, und welche dann mit einem eben solchen Complex von 3 C-Atomen zu einem grösseren Molekül von 6 C-Atomen verbunden sind; je ähnlicher die Nährstoffe diesem hypothetischen Körper sind, um so weniger Schwierigkeiten macht die Assimilirung und um so besser nähren die betreffenden Verbindungen.

Ein weiterer Aufbau betrifft ferner zweifelsohne die N-haltigen Körper; sowohl diejenigen, welche das Protoplasma constituiren, als diejenigen, welche in der intramolekulären Athmung zersetzt werden, sind vermuthlich stets von complicirterem Gefüge als die Nährstoffe. Selbst Peptone haben eine assimilirende Umwandlung zu erleiden, und wo Ammoniaksalze und Amide als einzige N-Quelle zu Gebote stehen, wird ein complicirter Aufbau und namentlich ein Zusammenfügen mit C-reichen Assimilationsproducten stattfinden müssen. Der verschiedene Kraftaufwand, der zur Constituirung der Assimilationsproducte erforderlich ist, je nachdem das einmal diesen nahestehende Verbindungen oder aber sehr abweichende und viel einfacher zusammengesetzte Körper als Material geboten sind, erklärt auch hier wieder zum Theil die verschiedene Nährfähigkeit der in Frage kommenden Verbindungen. Je lebhafter das Wachsthum und die Neubildung von Protoplasma und je heterogener die Nährstoffe sind, um so mehr Kraft wird durch die Athmung disponibel gemacht werden müssen.

Die Salze scheinen ebenfalls durchaus nicht immer aus dem Nährgemisch in derselben Form aufgenommen zu werden, in welcher sie innerhalb der Zellen functioniren. Hier und da werden Umsetzungen und Abscheidungen unter dem Einfluss gebildeter organischer Säuren stattfinden müssen; ferner verbinden sich S, P, Mg, vielleicht auch Ca und K, mit den complicirten Molekülen der proteinartigen Stoffe des Protoplasmas. Zur Lieferung des Phosphors scheint nur die Phosphorsäure geeignet zu sein; die Paarung mit proteinähnlichen Körpern muss erst innerhalb der Zelle stattfinden. Alle diese Umsetzungen der anorganischen Stoffe treten aber in Umfang und Kraftumsatz weit hinter denen der organischen Substanzen zurück.

Für die höheren Pflanzen ist es eigenthümlich, dass die Zusammensetzung der Salze ausserordentlich schwanken kann. Oft werden

von den nothwendigen Nährsalzen überschüssige Mengen aufgenommen, so dass die Relation der einzelnen Aschenbestandtheile unter einander sehr wechselnd wird; oft werden auch Elemente aufgenommen, die gar nicht die Bedeutung nothwendiger Nährstoffe haben, und ohne Function die Pflanze passiren oder an verschiedenen Stellen derselben abgelagert werden (so Si, Al, Mn u. s. w.; Kieselsäure zuweilen bis zu 50% der Asche). Ob ein gleiches Verhalten auch bei den Pilzen statthat, ist noch ungewiss; die bisherigen Analysen sind noch zu wenig umfangreich, um in dieser Beziehung sichere Aufschlüsse zu geben.

Da nach NÄGELI's Versuchen Kalium nicht durch Calcium oder Magnesium ersetzt werden kann, spielen Alkalien und alkalische Erden vermuthlich ganz verschiedene Rollen; letztere scheinen nur Einlagerungen im Plasma und in der Zellmembran zu bilden, während die Alkalisalze theilweise in der freien Zellflüssigkeit gelöst sind. Dass auch Natrium und Lithium die Kaliverbindungen nicht zu ersetzen vermögen, liegt vermuthlich nicht in diosmotischen Differenzen, sondern in der geringeren Verwandtschaft des Kalium zum Wasser; man kann vielleicht annehmen, dass die Salze von Na und Li im gelösten Zustande eine Hülle von festgebundenen Wassermolekülen haben, welche sie für Contactwirkungen ungeeignet macht (NÄGELI, l. c. S. 56 ff.).

### *3. Stoffumwandlungen und Kraftleistungen der niederen Pilze.*

Die assimilirten Stoffe erleiden innerhalb der Zelle noch eine Reihe von Umwandlungen dadurch, dass sie in der oben schon kurz geschilderten Weise entweder zur Bildung plastischer Stoffe und damit zum Aufbau neuer Zellsubstanz verwandt werden, oder dem destructivem Stoffwechsel anheimfallen, in welchem sie durch die Athmung zerstört und theilweise in solche Stoffe umgewandelt werden, die nicht mehr als Nährmaterial dienen können und als Excrete ausgeschieden werden. Analog dem Stoffwechsel der Thiere haben wir dabei keineswegs anzunehmen, dass alle assimilirten Stoffe zunächst Zellsubstanz bilden und dann erst der Zerstörung anheimfallen, sondern vermuthlich wird nur der kleinere Bruchtheil zum Ersatz zerstörter Zellsubstanz verwandt, ein grosser Antheil verbleibt im Zellsaft und fällt der zerlegenden Wirkung des Protoplasmas anheim, während er im gelösten Zustande mit diesem in Berührung ist; ein sehr wechselnder Theil endlich wird zur Bildung neuer Zellsubstanz verbraucht und deckt so die Anforderungen des Wachstums und der Vermehrung. Eine genauere Einsicht in

die quantitative Vertheilung dieser Rollen ist aber zur Zeit noch unmöglich. Häufig bleibt es sogar zweifelhaft, ob ein Körper, welchen die Analyse als Bestandtheil der Organismen ermittelt, als plastischer, zu weiteren Functionen geeigneter Stoff aufzufassen ist, oder ob er lediglich als Excret angesehen werden muss. Es kommt vor, dass Substanzen, die durch die intermolekuläre Athmung aus complicirten Stoffen abgespalten und aus den Zellen ausgeschieden sind, noch als Nährmaterial fungiren, und in anderen oder denselben Zellen zur Herstellung plastischer Stoffe verwandt werden können; und hier ist dann die Zurechnung solcher Körper zu den Excreten oder zu den plastischen Stoffen mehr oder weniger willkürlich. Aber diese Schwierigkeit liegt bei den niederen Pilzen in entschieden geringerem Grade vor, als bei den höheren Pflanzen; denn bei den ersteren sind wenigstens die gasförmigen Körper, wie  $\text{CO}_2$ , sicher als Excrete aufzufassen, während höhere Pflanzen ja auch diese wieder assimiliren können.

Als N-haltige plastische Stoffe haben wir vor allem die ganze Gruppe der proteinartigen Körper anzusehen; diese sind in Lösung im Zellsaft und dann in Bewegung begriffen, demnächst der Zerlegung im Protoplasma unterliegend, resp. zu Zellsubstanz sich formend; oder aber in nicht gelöstem, einstweilen unbeweglichem Zustand in der Zellsubstanz abgelagert. Auffallenderweise konnte NÄGELI constatiren, dass Hefezellen auch Eiweiss und Peptone ausscheiden; und zwar Peptone in nicht gärenden, neutralen oder saueren Nährmedien, Eiweiss in gärenden oder in alkalisch reagirenden nicht gärenden Flüssigkeiten. — Neben den Proteinstoffen kommen in höheren Pflanzen zahlreiche Amide und Amidosäuren vor, namentlich Asparagin und Glutamin; diese müssen theils als Verläufer, theils als Spaltungsproducte der Proteinstoffe angesehen werden.

In derselben Weise werden auch in Spross- und Spaltpilzen Amide gefunden, so Leucin, Tyrosin, ferner Guanin, Xanthin, Sarkin. Namentlich bei der sogenannten Selbstvergähung der Hefe treten zahlreiche derartige Verbindungen auf, während Asparagin und Glutamin bis jetzt bei den niederen Pilzen noch nicht nachgewiesen wurden.

Diese Amidokörper sind grösstentheils gute Nährmittel; es ist gerade für niedere Pilze zweifellos, dass aus ihnen allein der N-Bedarf der Pilze gedeckt und die Proteinstoffe des Protoplasmas aufgebaut werden können, während andererseits ihr Auftreten bei ausschliesslicher Eiweissnahrung resp. bei der Selbstvergähung der Hefe aufs Deutlichste ihre Entstehung durch Zerspaltung proteinartiger Körper anzeigt. So dienen sie gleichzeitig als plastisches Material und als



Excrete; und es ist bezeichnend für die Sparsamkeit, mit welcher der Haushalt der Pilze bezüglich der N-haltigen Substanzen verfährt, dass bei der Zerlegung derselben meistens wieder benutzbare Reste entstehen.

Ob thatsächlich grössere Mengen der als Stoffwechselproduct entstandenen Amidokörper oder der ausgeschiedenen Peptone wieder von neuen Zellen derselben Pilzcolonie verwendet werden, muss von der Nährfähigkeit der entstandenen Verbindungen und ferner von der gleichzeitigen Anwesenheit besser nährenden N-Verbindungen abhängen; sind Peptone zugegen, so werden die Amidokörper sich wesentlich als Excrete verhalten, während sie beim Mangel anderer Nährstoffe vicariirend grosse Bedeutung erlangen können; und entstandenes Leucin wird leichter wieder zur erneuten Bildung von Proteinstoffen verwandt werden, als Kreatin oder Harnstoff.

Selbst diejenigen N-Substanzen, welche leicht in Gasform auftreten, wie Trimethylamin, ferner die Ammonverbindungen, z. B. Ammoniumcarbonat, Schwefelammonium, können nicht ohne Weiteres als Excrete aufgefasst werden. Auch diese können unter sonst günstigen Umständen als ausreichendes N-haltiges Nährmaterial functioniren, und ihre Wiederverwendung als plastisches Material erscheint nicht ausgeschlossen. Demnach würden nur etwa freier N, Nitrokörper, und für einige Classen von Pilzen die Nitrate Verbindungen sein, welchen unter allen Umständen die Bedeutung von Excreten zukäme; und da diese nur unter besonderen Verhältnissen (freier N niemals) vorkommen scheinen, müsste eigentlich für gewöhnlich eine Ausscheidung excrementitieller N-Producte ganz in Zweifel gezogen und die unwahrscheinliche Annahme gemacht werden, dass eine Pilzcolonie auf Kosten einer kleinen Menge N-haltiger Substanz unbegrenzt lange existiren und sich regeniren kann, indem die Zerlegungsproducte der Proteinstoffe sich immer von Neuem mit stickstofflosen Complexen zusammenlagern und so neue zerlegbare Proteinsubstanzen bilden.

Dennoch haben Analysen ergeben, dass eine derartige Stickstoffbilanz in der That nicht statthat. Specieell für Hefe haben die Untersuchungen von PASTEUR, SCHÜTZENBERGER, MAYER u. A.<sup>1)</sup> gezeigt, dass die Stickstoffmenge einer Hefe, welche in reiner Zuckerlösung cultivirt wird, allmählich abnimmt, und zwar nicht nur der procentische Gehalt an N, sondern auch die absolute Menge; es müssen

1) PASTEUR, Ann. chim. phys. (3). 58. 507. — SCHÜTZENBERGER, Compt. rend. 1874. Vol. 78. — MAYER, Unters. über die alkohol. Gährung. Heidelberg 1869.

dann also nothwendig N-haltige Stoffe als Excrete abgeschieden und in Gasform fortgegangen sein. Diese Analysen müssen jedenfalls noch mit verschiedener Variation wiederholt werden; und es ist von vornherein selbstverständlich, dass die Resultate nicht in allen Fällen übereinstimmend ausfallen können. Vor allem wird oft dadurch ein Stickstoffverlust eintreten, dass eine relativ rasche und massenhafte Bildung flüchtiger N-Substanzen eintritt, und dass dieser die N-Assimilation durch die Zellen nicht das Gleichgewicht hält. Fehlen ferner diejenigen Nährstoffe, welche den Pilzzellen den C zu liefern vermögen, so müssen alle solche N-haltigen Spaltungsproducte als unbrauchbare Excrete fungiren, welche nicht gleichzeitig verwertbaren C im Molekül enthalten (z. B. Ammoniumsälze, auch Harnstoff, Oxamid); und in solchem Falle wird leicht eine Verminderung der N-Substanz bemerkbar werden, eigentlich aber nur deshalb, weil mit dem C nicht in gleicher Weise sparsam verfahren wird und das fortgesetzte Entweichen C-haltiger Gase eine Erschöpfung an diesem Element herbeizuführen vermag. Endlich gilt allgemein, was oben von den ausgeschiedenen Amidn gesagt wurde; sind reichlich bestnährende N-Substanzen zugegen, so werden weit eher N-haltige Körper mit excrementitiellem Charakter auftreten, und sie werden als schlechtere Nährstoffe von einer weiteren Verwendung ausgeschlossen. Im Nothfall aber bildet ein Theil der N-haltigen Spaltungsproducte vermuthlich immer von Neuem nährtüchtiges Material, so einen seltsamen sparsamen Kreislauf vollendend.

Stickstofflose plastische Stoffe scheinen bei den Pilzen eine weit geringere Rolle zu spielen, als bei den höheren Pflanzen. Die Stärke, die bei diesen in so grosser Verbreitung vorkommt, fehlt bei den Pilzen gänzlich (höchstens mit Ausnahme einiger Bacillen und der *Leptothrix*). Von sonstigen Kohlehydraten ist in Schimmelpilzen Trehalose und Glycose, bei einigen ferner der den Kohlehydraten gewöhnlich zugerechnete Alkohol Mannit gefunden. Von organischen Säuren bezeichnet man gewöhnlich Weinsäure, Aepfelsäure und Citronensäure als plastische Stoffe, über deren Verbreitung in den Pilzen indessen nichts bekannt ist; wohl aber scheint fettes Oel häufiger Bestandtheil der Zellsubstanz zu sein. Zu diesen beweglichen und insofern dem gelösten Eiweiss entsprechenden Stoffen kommt dann noch die Cellulose, welche sich abgelagert in den Zellen findet und bei Schimmel- und Hefepilzen fast ausschliesslich, bei Spaltpilzen nur in geringer Menge die Zellmembran constituirt (vgl. S. 178). — Alle diese Stoffe werden zum kleinsten Theil in fertiger und brauchbarer Form aus dem Nährmaterial aufgenommen; sondern

für ihre gewöhnliche Entstehung giebt es zwei Möglichkeiten, die vermuthlich häufig beide realisirt sind. Entweder findet ein Aufbau derselben aus einfacheren Verbindungen statt, wie dies z. B. sicher dann der Fall sein wird, wenn relativ einfache Verbindungen (Essigsäure, Alkohol, Leucin) als einzige C-Quelle gegeben sind; oder aber die stickstofflosen plastischen Stoffe entstehen erst durch Zerlegung complicirterer Moleküle und namentlich der Proteinsubstanzen, und dies ist sogar die einzige Art ihrer Entstehung, wenn Pilze z. B. lediglich mit Peptonen ernährt werden.

Das Schicksal der N-losen Substanzen haben wir uns im Weiteren so zu denken, dass sie theilweise direct zur Bildung von Organtheilen verwandt werden (Cellulose, Fett); theils lagern sie sich mit N-haltigen Molekülen zusammen und liefern so die proteinartigen Stoffe; theils endlich werden sie, vorzugsweise wohl in der Form von Kohlehydraten, im Protoplasma zerlegt und bei Sauerstoffzutritt weiter zerstört, so wahre Excrete liefernd. Einige können in ähnlicher Weise wie die N-haltigen Derivate bald als plastische Stoffe, bald als Excrete fungiren; z. B. die organischen Säuren, die bei gleichzeitig vorhandener besserer C-Nahrung nicht weiter benutzt zu werden scheinen, während sie in C-armen und sonst geeigneten Nährmedien nicht unbenutzt zur Ausscheidung gelangen. Dann aber giebt es unter den N-losen Bestandtheilen der Pilze auch solche, die als wirkliche Excrete aufzufassen sind und immer als solche functioniren. So vermögen Oxalsäure, Ameisensäure u. s. w. nicht wieder eine Rolle als nährende Verbindungen zu spielen; und namentlich ist die  $\text{CO}_2$  für Pilze nicht verwerthbar und daher überall als excrementitieller Stoff anzusprechen. Da nebenbei  $\text{CO}_2$  stets von allen Pilzen producirt wird, so liegt in der  $\text{CO}_2$ -Ausscheidung der weitaus wesentlichste Grund für die allmähliche Verarmung eines Nährgemisches an Nährstoffen. Auch noch einige aromatische Producte scheinen bei dem Stoffwechsel der Pilze in geringer Menge gebildet zu werden, so Phenol, Skatol, Indol u. s. w. Im Allgemeinen sind diese Körper schlechte Nährstoffe und bei einer gewissen Concentration wirken sie sogar giftig und hemmen die Entwicklung der Pilze auch bei der Gegenwart anderer nährender Verbindungen; sie verhalten sich daher meist ebenfalls als wahre Excrete (vgl. S. 202).

Dasjenige Element, welches sich ausser den vorgenannten Stoffen aufs lebhafteste an den im Organismus der Pilze vorgehenden Umsetzungen betheiligt, ist der Sauerstoff. Durch sein Eingreifen kommt erst eine vollständige Verbrennung und damit eine Production von lebendiger Kraft zu Stande, welche zur Bestreitung der Kraft-

leistungen des Organismus ausreicht. Der Oxydation durch Sauerstoff fallen die verschiedensten Atomcomplexe anheim, jedoch wesentlich nur solche, welche unter dem Einfluss der intramolekulären Athmung im Protoplasma entstanden sind und dem Sauerstoff bessere Angriffspunkte bieten, als die in der Nahrung aufgenommenen und durch den Assimilationsprocess gebildeten Stoffe. Die Initiative für den Athmungsvorgang ist dadurch in das Protoplasma gelegt; und dort scheint die hervorragendste Regulirung zu liegen für den Umfang der Athmung und des Sauerstoffconsums. Mit der Energie der Zersetzungen im Protoplasma, und somit auch mit der Lebhaftigkeit der Assimilation und des Wachsthum's pflegt die Sauerstoffaufnahme und Sauerstoffathmung Hand in Hand zu gehen, und vermag so dem regeren Stoffwechsel auch eine grössere Summe von Betriebskraft zur Disposition zu stellen. — Gegenüber dem beherrschenden Einfluss der intramolekulären Athmung scheinen äussere Momente die Sauerstoffathmung nur wenig zu alteriren. So ist namentlich der Druck des Sauerstoffs im umgebenden Medium relativ gleichgültig; es wird zwar eine untere Grenze der Sauerstofftension für eine genügende O-Aufnahme existiren; doch liegt dieselbe, wie sich schon nach der Analogie der höheren Pflanzen vermuthen lässt, bedeutend unter dem gewöhnlichen Sauerstoffgehalt der Luft; so sistirte die Keimung von Samen erst bei einem Absinken des Luftdrucks auf 4 cm; und nicht gährfähige Schimmelpilze stellten ihr Wachsthum erst ein in einer CO<sub>2</sub>-Atmosphäre, welche  $\frac{1}{500}$  ihres Volumens Luft enthielt (BREFELD). Andererseits konnte erst bei einer Sauerstofftension, die einer Compression der Luft auf 20—40 Atmosphären entsprach, die Entwicklung von Spross- und Spaltpilzen verhindert werden (P. BERT).<sup>1)</sup> — Die Temperatur des Nährmediums zeigt sich von erheblicherem Einfluss auf den Umfang der Athmung, aber sie wirkt wiederum nur mittelbar durch Beeinflussung des Protoplasmas und der dort ablaufenden Zersetzungen. Für höhere Pflanzen ist ermittelt, dass mit steigender Temperatur der Umfang der Athmung fortwährend zunimmt, und zwar so, dass die Curve derselben von etwa 0° an steigt bis nahe an die Tödtungstemperatur, um dann plötzlich auf 0 abzusinken. Ob auch für die Mikroorganismen ein ähnliches Gesetz gilt, ist noch nicht festgestellt, aber von vornherein wahrscheinlich.

Fehlt der Sauerstoff, so gehen, wie die Untersuchungen an höheren Pflanzen und namentlich an Früchten ergeben haben, die

---

1) BERT, Compt. rend. 1873. T. 76. — BREFELD, Landw. Jahrb. 3. 24, cit. nach PFEFFER, l. c. S. 380.



Zersetzungen im Protoplasma zwar noch eine Zeitlang fort, aber der Stoffwechsel wird sowohl hinsichtlich der stofflichen Producte als auch bezüglich der Kraftleistungen ein anderer. Atomcomplexe, welche sonst sogleich Verbindungen mit Sauerstoff eingehen, bleiben nach ihrer Bildung bestehen oder gehen Umsetzungen mit anderen Körpern ein, so dass jedenfalls allerlei Producte entstehen, die bei reichlicher Sauerstoffzufuhr nie beobachtet werden. Unter der Mitwirkung des Sauerstoffs werden vorzugsweise  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  gebildet und neben diesen nur geringe Mengen nicht so vollkommen oxydierter Verbindungen; bei Sauerstoffabschluss beobachtet man nach wie vor eine Production von  $\text{CO}_2$ , die an sich nicht unbeträchtlich, doch weit hinter der Menge der Athmungs- $\text{CO}_2$  zurückbleibt (282 Grm. Birnen lieferten beispielsweise in 5 Monaten 1762 Ccm.  $\text{CO}_2$ ); aber daneben tritt Alkohol auf, ferner organische Säuren, Ester, zuweilen H.<sup>1)</sup> Dabei wird nur eine sehr geringe Menge von Energie durch die Entstehung dieser Producte aus complicirteren Molekülen disponibel, so dass nur für eine kurze Zeit und unter sonst günstigen Umständen der Bedarf der lebenden Zellen an Betriebskraft gedeckt werden kann.

Bei den Mikroorganismen scheint die intramolekuläre Athmung nur selten rein zur Beobachtung zu kommen; bei dem raschen Stoffwechsel und der grossen Wachstumsenergie die sie auszeichnet, bedürfen sie umfangreicherer Kraftentwicklungen, als ihnen durch die intramolekuläre Athmung geboten werden kann; und die letztere könnte höchstens zusammen gehen mit einem Stadium der Ruhe und des latenten Lebens, wie es in der That unter besonderen später zu erwähnenden Umständen bei manchen Spaltpilzen vorzukommen scheint. Viele Pilze aber können dennoch lange Zeit ohne O-Zufuhr existiren; nämlich dann, wenn sie hinreichend intensive Gährung in ihrem Nährmedium zu erregen vermögen. Sie sind gerade hierdurch in besonders günstiger Weise für ihre Lebenserhaltung ausgerüstet, indem ihnen noch ein Ersatz und eine Selbsthülfe gewährt ist, wenn der für die Beschaffung der nöthigen Betriebskraft und damit für das Gedeihen und Wachsen so wichtige O ihnen entzogen ist. Sie vermögen unter solchen Umständen die in ihrem Protoplasma ablaufenden Zersetzungen derart zu erweitern, dass eine sehr grosse Menge gährfähiger Substanzen, weit mehr als die Zellen für gewöhnlich in ihrem Innern zu verarbeiten vermögen, oberflächlich zerlegt wird unter Freiwerden von Energie; und diese letztere wird dann

---

1) LECHARTIER u. BELLAMY, Compt. rend. 1869. T. 69. 1872. T. 75, 1874. T. 79. — BREFELD, Landwirthsch. Jahrb. 1876. — MÜNTZ, Ann. chim. phys. 1876.

von den lebenden wachsenden Zellen benutzt, um ihren Kräftebedarf zu decken. Dabei können die Massen von Substanz, welche der Zerlegung anheimfallen, nicht etwa vollständig verbrannt werden, sondern es resultiren relativ hochconstituirte Producte, die je nach dem Gährmaterial ausserordentlich verschieden ausfallen, und zum Theil denen ähnlich sind, welche bei der ausschliesslichen intramolekulären Athmung zu entstehen pflegen. — Von diesem eigenthümlichen Vorgang der Gährung, der offenbar aus dem Rahmen des Stoffwechsels der Pilze im engeren Sinne heraustritt und in vielen Beziehungen ein ganz eigenartiges Verhalten zeigt, wird in einem der folgenden Capitel ausführlicher die Rede sein.

Der gesammte im Vorstehenden skizzirte Stoffwechsel der Pilze ist nach der quantitativen Seite hin noch so wenig bearbeitet, dass selbst eine ungefähre Schätzung darüber unmöglich ist, in wie weit unter gegebenen Umständen die eine oder die andere Art der dabei ablaufenden chemischen Processe, nämlich die assimilirende oder die destruierende Thätigkeit, überwiegt. Bei der Aufstellung der Bilanz des thierischen Haushalts, namentlich wenn es sich um einen wachsenden zunehmenden Körper handelt, sind wir vor allem bemüht, der Menge der Einnahmen theils die zerstörten Stoffmengen, theils diejenigen Quantitäten gegenüber zu stellen, welche zur Neubildung von Körpersubstanz verwandt sind. Eine ähnliche Rechnung ist bisher für die Pilze nicht ausführbar. Wenn in einem Nährmedium eine Ansiedelung von Pilzen erfolgt, so werden die Nährstoffe aufs rascheste consumirt, es findet eine rapide Vermehrung der Pilze statt, und in den neugebildeten, dem blossen Auge deutlich sichtbaren Colonien von Zellen ist sodann ein grosser Bruchtheil der consumirten Nährstoffe enthalten. Aber ein anderer Bruchtheil ist jedenfalls der Athmung, dem destruierenden Stoffwechsel anheimgefallen; flüchtige Producte sind gebildet und entwichen, andere Excrete sind im Nährmedium gelöst. Oft ist die Elementarzusammensetzung des letzteren völlig verändert, dadurch dass die Stoffwechselproducte Umsetzungen hervorgerufen haben, welche die weitere Nährfähigkeit der restirenden Nährlösung aufheben (Bildung von überschüssiger Säure, oder von alkalischer Reaction mit Ausfällung von Erdphosphaten u. s. w.). Durch eine Analyse des Nährsubstrats gelingt es somit nur sehr schwer, den Antheil der Assimilirung und der Zerstörung zu bestimmen, und es wird noch zahlreicher Arbeiten und Versuchsreihen bedürfen, bis wir in diese quantitativen Verhältnisse des Stoffwechsels der Pilze einen Einblick gewinnen.

Berücksichtigt man lediglich den assimilirenden Stoffwechsel,

so ist schon durch diesen allein die auffallend rasche Consumption eines Nährmediums (namentlich durch Spaltpilze) erklärlich, sobald man die enorm rasche Vermehrung der Pilze in Rechnung zieht. Wie früher angegeben, darf man annehmen, dass das Auswachsen und die Theilung eines Spaltpilzes in 2 Organismen im Durchschnitt innerhalb einer Stunde statthat; ein einziger Spaltpilz, der in eine Nährlösung ausgesät wird, liefert nach 48 Stunden, falls das Wachsthum schrankenlos in dieser Weise fortgeht, eine Colonie von 256 Billionen Individuen; und diese würden nach NÄGELI's Schätzung ein Trockengewicht von etwa 8 Grm. ausmachen, die wesentlich aus eiweissartiger Substanz bestehen. Von da ab müssen in der nächsten Stunde 16 Grm., nach einer weiteren Stunde 32 Grm. der Nährlösung in Pilzsubstanz verwandelt sein; und man kommt im Laufe des 3. Tages, oder wenn man von einer Einsaat ausgeht, die sich nicht auf ein einzelnes Individuum beschränkt, sondern Tausende von vermehrungsfähigen Organismen einführt, zu wahrhaft colossalen Zahlen, die in Wirklichkeit nur deshalb nicht erreicht werden, weil die dichte Zusammenlagerung der Pilze ihre allseitige Berührung mit Nährlösung und ihre freie Entwicklung hemmt.

Was schliesslich den Kraftwechsel betrifft, welcher den Stoffwechsel der Pilze begleitet, so ist über denselben fast nur das bekannt, was sich auf Grund der Analogie der höheren Pflanzen vermuthen lässt. Bezüglich der Krafteinnahme besteht für die niederen Pilze das abweichende Verhältniss, dass fast lediglich die chemischen Umsetzungen, von denen oben die Rede war, Betriebskraft liefern. Für die höheren Pflanzen beschaffen die Lichtstrahlen die zur C-Assimilation nöthige Energie; die chlorophyllfreien Pilze vermögen aber diese Kraftquelle nicht auszunutzen, und die gesammten Assimilationsprocesse erfolgen auf Kosten der durch chemische Zersetzungen frei gewordenen Kräfte.

Der Verbrauch der bei der Athmung gewonnenen Betriebskraft vertheilt sich theils auf die Assimilationsprocesse, theils auf die Fortbewegung der Stoffe; sodann auf die Wachsthumsbewegung und den Keimungsprocess; ferner auf locomotorische Bewegungen; endlich auf Wärme und Lichtproduction. — Ueber die erstgenannten Energie consumirenden Acte ist nichts genaueres bekannt. Für die Wachsthumsbewegung muss namentlich bei den Spaltpilzen oft eine erhebliche Kraftmenge verbraucht werden; intensives Wachsthum wird daher auch stets mit reichlicher Athmung und CO<sub>2</sub>-Production einhergehen. Auch zur Sporenkeimung bedarf es eines erheblichen Kraftaufwandes, der den meisten Spaltpilzen nur durch

Sauerstoffathmung, oder in einzelnen wenigen Fällen (*Bac. butyricus*) durch vicariirende intensive Gährung gewährt wird. Die locomotorischen Bewegungen sind bei den Spaltpilzen Schwimmbewegungen in flüssigen Medien, und sind meist oder immer durch schwingende Cilien vermittelt. Die Art der Bewegung ist eine sehr mannigfaltige (vgl. S. 89), gewöhnlich mit gleichzeitiger Drehung um die Längsachse verbunden; die Energie der Bewegung scheint von der Temperatur und von der Sauerstoffzufuhr in der Weise abhängig zu sein, dass die Verhältnisse, welche die intensivste Athmung veranlassen, auch für die Bewegungsvorgänge am günstigsten sind. Bei Anaëroben, deren Bewegungen bei Sauerstoffzutritt sofort sistiren, muss eine gewisse Gährungsintensität an die Stelle der O-Athmung treten. Ob auch die Spaltpilze ähnlich wie verschiedene Schwärmsporen durch Lichteinwirkung in ihrer Bewegung beeinflusst werden, ist noch nicht mit Sicherheit entschieden (vgl. S. 181).<sup>1)</sup> — Eine andere Form von Bewegungserscheinungen bieten ferner die Gestaltänderungen im Protoplasma, wohin namentlich die tanzende Bewegung der Mikrokokken zu rechnen ist.

Auch eine deutlich wahrnehmbare Wärmeproduction, ähnlich wie bei den höheren Pflanzen, ist an niederen Pilzen beobachtet. Dieselbe ist minimal, wenn nur die intramolekuläre Athmung vor sich geht und weder Sauerstoffzufuhr noch Gährung statthat; in solchem Falle wurde für Hefe (in Wasserstoffgas) ein Temperaturüberschuss von  $0,2^{\circ}$  über die Temperatur der Umgebung constatirt; bei Luftzutritt steigerte sich der Ueberschuss auf  $1,2^{\circ}$ ; bei Gährung auf  $3,9^{\circ}$ .<sup>2)</sup> Diese Zahlen haben selbstverständlich nur für die besonderen Verhältnisse Gültigkeit, unter denen sie gewonnen wurden. Auch für Spaltpilze wurde die Temperaturerhöhung des Nährmediums constatirt, freilich vorzugsweise während der Gährwirkung.<sup>3)</sup>

Endlich begleitet zuweilen Lichtentwicklung den Lebensprocess von Pilzen. Für einige höhere Pilze, namentlich *Agaricus*-arten, ist diese Erscheinung bereits seit lange bekannt; neuerdings ist auch das Leuchten, welches faulende Fische oder Fleischstücke zuweilen verbreiten, auf niedere Pilze, namentlich Mikrokokken, zurückgeführt, die aber nur dann das Leuchten verursachen, wenn reichliche Sauerstoffzufuhr und nicht zu niedere Temperatur eine möglichst energische Athmung gestatten<sup>4)</sup> (vgl. S. 98).

1) Vgl. STRASBURGER, Wirkung des Lichts und der Wärme auf Schwärmsporen. 1878. — ENGELMANN, Botan. Zeitg. 1882.

2) ERIKSSON, Unters. b. dem botan. Institut in Tübingen 1881. Heft 1.

3) POPOFF, Botan. Jahresb. 1875. — WERNICH, Organisirte Krankheitsgifte.

4) FLÜGGE, Arch. f. Phys. 1875. — LASSAR, Ebenda. 1880.



#### 4. Die Stoffwechselproducte der niederen Pilze.

Die Producte des Stoffwechsels der niederen Pilze erfordern an dieser Stelle noch eine besondere Berücksichtigung, weil unter denselben sich einzelne charakteristische Substanzen finden, die zur Diagnose und zur Erkennung einer Pilzgattung verwerthet werden können, weil sich ferner die principiell wichtigen Fragen nach der Constanz oder Inconstanz gewisser Eigenschaften der Pilze nur auf Grund einer genauen Kenntniss der Producte entscheiden lassen; und weil endlich einzelne dieser Producte, nämlich die löslichen Fermente und die giftig wirkenden Stoffe, besonders bedeutungsvoll für die hier interessirenden Functionen der Pilze sind.

Es ist bereits oben ausführlich erörtert, dass eine strenge Abgrenzung der als Excrete fungirenden Stoffwechselproducte von dem plastischem, noch weiter verwerthbarem Material nicht möglich ist; selbst Eiweissstoffe und Peptone treten ja zuweilen als Ausscheidungen auf. Entsprechend dieser Auffassung ist die Reihe der gelegentlich bei Pilzculturen beobachteten Stoffwechselproducte eine ausserordentlich grosse: Gase wie  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ; ferner Wasser; Schwefel; dann leicht flüchtige Körper, wie Trimethylamin, Alkohol, Ameisensäure, Essigsäure, Buttersäure; fixere Säuren, wie Milchsäure, Aepfelsäure, Bernsteinsäure, Oxalsäure, Weinsäure; Sulfosäuren wie, Taurin, Amide der Fettsäuren, namentlich Leucin, Alanin u. s. w.; Körper aus der aromatischen Reihe, wie Tyrosin, Phenol, Kresol; Reductionsproducte, wie Indol, Hydroparacumarsäure; complicirtere Moleküle, wie Kohlehydrate, Peptone, hydrolytische Fermente; endlich Farbstoffe und alkaloidartige, giftige Substanzen. Je nach der specifischen Art des herrschenden Pilzes und je nach den im Nährmedium gebotenen äusseren Bedingungen treten bald diese bald jene Producte auf, und eine besonders grosse Zahl derselben wird beobachtet, wenn gährende oder faulende Substrate vorliegen. — Für die oben erwähnten Fragen ist eine Classificirung der Excrete nach gewissen Gesichtspunkten besonders wichtig. Man kann eine Gruppe von allgemeinen Stoffwechselproducten unterscheiden, die bei der Cultur aller oder doch zahlreicher Pilze auftreten; und kann diesen die Gruppe der specifischen Producte gegenüberstellen, deren Vorkommen auf eine oder einige Pilzgattungen beschränkt ist. Bei den beiderartigen Producten lässt sich weiter fragen, ob dieselben sich constant, unter allen wechselnden Verhältnissen des Nährmediums einstellen, oder ob sie eventuell fehlen oder gar nur selten, unter ganz bestimmten äusseren Bedingungen vorkommen.

Durch ein allgemein verbreitetes und constantes Vorkommen ist wohl lediglich die  $\text{CO}_2$  ausgezeichnet; auch Wasser und ein N-haltiger Körper werden gewiss regelmässig als Zersetzungsproduct auftreten; aber sie kommen nicht in gleicher Weise wie die  $\text{CO}_2$  als Excrete zur Beobachtung. Ohne  $\text{CO}_2$ -Abscheidung scheint der Lebensprocess der niederen Pilze niemals zu verlaufen; wir finden dieselbe stets, wenn auch in sehr verschiedener Menge, einerlei ob nur intramolekuläre Athmung stattfindet, ob Sauerstoff zutritt oder ob Gährung besteht. Die  $\text{CO}_2$  ist bei den niederen Pilzen sogar viel eher als Mass des Stoffwechsels zu benutzen, wie bei den höheren Pflanzen, weil hier keine Assimilation der einmal gebildeten  $\text{CO}_2$  stattfinden kann. Ob aber andere Umstände, namentlich die Art der Abscheidung der  $\text{CO}_2$ , nicht den Parallelismus zwischen der Menge der abgegebenen  $\text{CO}_2$  und der Energie des Stoffwechsels stören, ist noch fraglich und muss durch weitere Versuche entschieden werden.

Häufig werden ferner verschiedene Fettsäuren und deren Amidverbindungen beobachtet; man findet dieselben in sehr zahlreichen Spaltpilzculturen, auch wenn das Nährmedium ursprünglich nichts von diesen Körpern enthielt, einerlei ob Gährung oder einfache Consumption des Materials vorhanden war. — Eine weitere Verbreitung nimmt man ferner an für gewisse aromatische Producte, wie Phenol, Parakresol. Dieselben sind bis jetzt freilich nur in Culturen von Spaltpilzen nachgewiesen, in denen Gährungsvorgänge stattfinden; es ist noch fraglich, in wie weit bei der einfachen Sauerstoffathmung der Spaltpilze solche Producte gebildet werden, und ob ausser den Fäulnisorganismen auch andere nicht gährungserregende Pilze sich ebenso verhalten. Ausserdem ist die quantitative Seite dieser Frage noch wenig berührt, so dass über die Menge der unter verschiedenen Umständen gebildeten Benzolderivate nichts bekannt ist. Genauere Kenntnisse über diese Verhältnisse wären aber namentlich deshalb von besonderer Wichtigkeit, weil die aromatischen Stoffwechselproducte vielleicht eine sehr bedeutungsvolle Rolle spielen, zu welcher sie durch ihre desinficirenden Eigenschaften befähigt sind. Zusatz von Phenol oder den verwandten Körpern, Kresol, Skatol, vermag schon in relativ geringer Menge die Entwicklung von Bakterien zu hemmen; man hat daher vermuthet, dass die Production dieser Stoffe durch die Spaltpilze den Effect haben kann, die weitere Entwicklung der eigenen Cultur zu hemmen resp. auf die gebildeten Organismen schwächend zu wirken. Man verweist dabei gern auf das ähnliche Verhalten einiger anderer Pilze; so hemmt bekanntlich bei der Alkoholgährung der gebildete

Alkohol schliesslich die Lebensthätigkeit der Hefezellen; ferner werden die Pilze der Milchsäure- und der Essiggährung, der Mikrokokkus der ammoniakalischen Harngährung durch ein Uebermass der gebildeten Producte in ihrer Entwicklung beeinträchtigt (vgl. S. 98). Aber es ist noch fraglich, ob die Analogie der aromatischen Stoffwechselproducte mit den bei den genannten Gährungen auftretenden Stoffen eine vollkommene ist. Bei den letzteren tritt die Hemmung jedenfalls immer erst in einem sehr späten Stadium ein, nachdem die Entwicklung und Vermehrung der Pilze einen sehr hohen Grad erreicht hat (der Alkoholgehalt kann auf 14 %, der Gehalt an Ammoniumcarbonat auf 13 % steigen); und dann sind alle diese Wirkungen bisher nur bei Gährungen beobachtet, nicht aber bei dem ohne Gährwirkung verlaufenden Stoffwechsel der Pilze. Es bleibt daher eine Präcisirung unserer Anschauungen über die Bedeutung der aromatischen Stoffwechselproducte noch abzuwarten.

Einigermassen zweifelhaft ist die Stellung einer wichtigen Classe von Stoffwechselproducten der Pilze, nämlich die der löslichen, sog. chemischen Fermente. Auf die Bedeutung und Wirkungsweise dieser wird im nächsten Capitel ausführlicher einzugehen sein; hier sei nur das erwähnt, dass wir bei niederen Pilzen zahlreiche verschiedenartige Fermente finden, so ein peptonisirendes, welches Eiweiss löst; dann ein Cellulose lösendes; ferner das Invertin, welches den Rohrzucker in Glycose verwandelt; weiter ein Ferment, welches Milchzucker in Glycose überführt, und vermuthlich noch andere auf die Gruppe der Kohlehydrate wirksame Fermente; vielleicht endlich noch eins, welches Fett und Glycoside spaltet. In welcher Verbreitung aber diese Fermente bei den verschiedenen Pilzen vorkommen, darüber ist noch wenig bekannt. Peptonisirende Kraft scheint jedenfalls einer Reihe von Spaltpilzarten zuzukommen; Invertin hat man in der Hefe, vielen Spalt- und einigen Schimmelpilzen gefunden, in manchen Schimmelpilzen, z. B. *Mucor*, aber entschieden vermisst. Dass aber auch manche Fermente als specifisch und charakteristisch für einzelne Pilze demnächst erkannt werden dürften, dafür sprechen die analogen Erfahrungen bei den höheren Pflanzen. In diesen finden sich zwar einige Fermente, wie Diastas, in weiter Verbreitung, andere aber, z. B. das peptonisirende Ferment und namentlich dasjenige, welches in alkalischer Lösung wirksam ist, scheint nur auf einzelne wenige Arten (*Carica papaya*) beschränkt und für diese charakteristisch zu sein.

Weit stärker ist der specifische Charakter ausgeprägt bei den von manchen niederen Pilzen abgesonderten alkaloïdartigen

Stoffen. Für ihr spezifisches Vorkommen spricht vor allem wieder die Analogie mit höheren Pflanzen und namentlich mit höheren Pilzen, von welch letzteren es bekannt ist, wie streng die manchen unter ihnen zukommenden giftigen Eigenschaften nur an einzelne bestimmte Arten gebunden sind. Dass auch Spaltpilze toxisch wirkende Substanzen produciren, wurde zuerst aus den zahlreichen Infectionsversuchen mit fauligen Substanzen erkannt. Ferner hat man schon früh vermuthet, dass die Fälle, in welchen Wurst, Fische oder andere Nahrungsmittel eigenthümliche toxische Wirkung gezeigt haben, auf eine Production von Giften durch angesiedelte Spaltpilze zurückgeführt werden müssen. Später gelang es, aus Fäulnissgemischen einen alkaloidartigen Körper, das Pepsin, zu isoliren; und neuerdings haben SELMI<sup>1)</sup> u. A. aus faulenden Leichentheilen, faulendem Eiweiss u. s. w. mehrere sogenannte Cadaveralkaloide oder Ptomaine dargestellt. SELMI fand in mehreren derartigen Versuchen eine flüchtige und mehrere fixe, krystallinisch zu erhaltende Basen, die stark giftig wirkten. Von den gewöhnlichen Pflanzenalkaloiden sollten sich die Ptomaine dadurch unterscheiden, dass sie Ferriocyankalium zu Ferrocyankalium zu reduciren vermögen; jedoch sind diese Angaben nicht bestätigt.<sup>2)</sup> (SELMI hat dann auch aus normalem menschlichen Harn und ebenso aus pathologischen Harnen verschiedene giftige Basen erhalten, eine fixe und zwei flüchtige dem Nicotin und dem Coniin ähnliche, so dass also auch eine Production dieser Gifte durch die Zellen des Körpers angenommen werden müsste.) — Alle diese Beobachtungen sind deshalb noch ungenügend und müssen durch weitere Versuche ergänzt werden, weil dieselben stets an Gemengen der verschiedensten Pilze gemacht wurden, so dass die Zugehörigkeit der gefundenen Alkaloide zu besonderen Arten von Spaltpilzen nicht constatirt werden konnte. Weitere Untersuchungen müssen namentlich mit Reinculturen von Pilzen vorgenommen werden, und dann erst lässt sich die Frage entscheiden, ob auch bei den niederen Pilzen dieselbe spezifische Art der Verbreitung statthat, die wir bei den höheren Pilzen beobachten. Diese Frage hat noch eine besondere Bedeutung dadurch, dass das Verhalten einiger krankheitserregender Spaltpilze zu der Anschauung zu führen geeignet ist, dass die eigenthümliche Wirkungsweise dieser Pilze gerade durch eine Absonderung von alkaloidartigen Producten zu Stande kommt und dass darin die pathogenen

1) SELMI, Sulle ptomaine od alcaloidi cadaverici . . . Bologna 1878.

2) BROUARDEL & BOUTMY, Compt. rend. 92. 1056. — TANRET, Ibid. 92. 1163.

— PIETRO SPICA, Gaz. chim. ital. 11. 486. — SELMI, Atti dei Lincei. 5. 117, 300.



Eigenschaften mancher Infectionserreger ihre eigentliche Erklärung finden.

Den entschiedensten specifischen Charakter tragen die Farbstoffe, die von verschiedenen niederen Pilzen producirt werden. Die oben näher beschriebenen Farbstoffe der Rosahefe, der Pigmentmikrokokken, das Bacillus der blauen Milch und vieler anderer Spaltpilze werden bei derselben Gattung von Pilzen stets in derselben Nuance beobachtet; niemals konnte bisher eine gelegentliche Farbstoffproduction durch andere Pilze und ebensowenig eine Aenderung der Farbstoffproduction bei Pigmentpilzen constatirt werden. Wo scheinbar in Culturen pigmentbildender Pilze eine andere Färbung auftritt, da lassen sich immer Verunreinigungen und Ueberwucherungen durch andere Pilze als Grund des unreinen Farbentons nachweisen. — Dies specifische und für die Art charakteristische Auftreten der Farbstoffe kann nicht überraschen, da bei den höheren Pflanzen ähnliche Verhältnisse vorliegen, und z. B. die wenigen den Indigo liefernden Pflanzenfamilien ihr werthvolles Product eben so streng für sich reserviren.

Als specifische Producte haben wir ferner bis zu einem gewissen Grade die Stoffe anzusehen, welche durch einige Gährungen gebildet werden. Die Bildung von Milchsäure, von Buttersäure, von Gummi und Mannit (bei der schleimigen Gährung), von Essigsäure, von verschiedenen anderen organischen Säuren, von Alkoholen u. s. w., sind als specifische Leistungen bestimmter Pilze anzusehen, sobald man namentlich die Quantität der gebildeten charakteristischen Producte betrachtet und das für die Gährung erforderliche Material berücksichtigt. Geringe Mengen von Alkohol, Essigsäure u. s. w. werden zwar auch bei dem Stoffwechsel anderer Pilze gefunden; aber als massenhaft entstehende Gährproducte scheinen sie nur unter dem Einfluss bestimmter niederer Pilze zu entstehen; für diese bilden sie exquisit physiologische Leistungen und gehen Hand in Hand mit dem besten Gedeihen der Pilze. Der Nachweis dieser specifischen Gährungen ist zwar noch für wenige Organismen mit aller Sicherheit erbracht, da bei den verschiedenen Gährversuchen gewöhnlich Gemenge von Pilzen vorhanden waren; jedoch sind in neuerer Zeit bereits mehrere Versuche mit besonderer Würdigung dieses Gesichtspunkts z. B. von FITZ, PRAZMOWSKY u. A. ausgeführt (vgl. in den folgenden Abschnitten).

Einige seltener vorkommende Stoffwechselproducte schliessen sich entsprechend der Art ihres Vorkommens den vorstehend aufgezählten an. So zeigen einige Kohlehydrate zuweilen ein speci-

fisches Verhalten; nach den Versuchen von MÜNTZ<sup>1)</sup> enthielt *Penicillium glaucum* stets Mannit und keine Trehalose, wenn ihm Weinsäure, Glycosen, sonstige Kohlehydrate oder Fruchtsäuren als Nahrung geboten waren; dagegen bildete *Mucor mucedo* unter gleichen Umständen stets Trehalose; und andere Pilze bildeten neben Mannit und Trehalose noch Glycose. Auch die eigenthümliche Stärkebildung in den mit Jod sich blaufärbenden Spaltpilzen ist hierher zu rechnen. Ferner gehört die S-Abscheidung in den rothen Fäulnisorganismen und in *Beggiatoa* zu den auf wenige Arten beschränkten specifischen Stoffwechselproducten.

Sind nun alle diese mehr oder weniger specifischen Stoffwechselproducte constante Begleiter der betreffenden Pilze, oder treten sie in denselben nur gelegentlich unter dem Einfluss einer bestimmten Composition des Nährmediums und bestimmter äusserer Bedingungen auf? Es ist klar, dass die eigentliche Bedeutung und namentlich die diagnostische Verwerthung der specifischen Producte erst von der Entscheidung dieser Frage abhängen muss.

Im Ganzen beobachtet man bei den Pilzen wie bei den höheren Pflanzen ein erhebliches Variiren der Stoffwechselproducte je nach den äusseren Bedingungen. Es ist hier z. B. zu erinnern an den bedeutenden Einfluss des Zutritts oder des Fehlens von Sauerstoff auf die Art der gebildeten Stoffe; ferner ist die Zusammensetzung des Nährmediums, das Vorwiegen der N-haltigen oder N-losen Substanzen bestimmend für das Mengenverhältniss, in denen die verschiedenen gewöhnlich beobachteten Producte auftreten. Endlich veranlassen zuweilen abnorme Veränderungen oder mehr zufällige Beimengungen des Nährmediums das vorübergehende Auftreten ungewöhnlicher Producte. Bei höheren Pflanzen beobachtet man in diesem Sinne die massenhafte Bildung von Amiden beim Fortfall der C-Assimilation; ferner die Bildung von Benzoëssäure, wenn den Pflanzen Hippursäure als N-haltiges Nährmaterial geboten wird. Und ebenso vermögen z. B. Schimmelpilze zufällig vorhandene Gallusgerbsäure in der Weise zu verarbeiten, dass Gallussäure und Glycose gebildet wird. — Vermuthlich werden ausgedehntere derartige Versuche noch viele derartige, lediglich durch Abweichungen des Nährmediums bedingte und mit der Aenderung des Nährmediums wieder verschwindende Stoffwechselproducte der Pilze kennen lehren.

Im Gegensatz zu diesen zeigen nun aber die meisten der oben erwähnten specifisch vorkommenden Stoffe ein entschieden constantes Verhalten.

1) Annal. chim. phys. 1876.

Namentlich bei den Farbstoff bildenden Spaltpilzen beobachtete man bisher niemals ein Aufhören oder eine wesentliche Abnahme der Farbstoffproduction; zuweilen erhält man Culturen, die in der äusseren Form denen der Pigmentbakterien gleichen, aber farblos oder missfarbig sind und den Eindruck machen, als hätten die Pilze ganz oder theilweise die Farbstoffbildung verloren. Die mikroskopische Analyse ergiebt aber in solchen Fällen stets eine Verunreinigung mit anderen Spaltpilzen, welche die Pigmentbakterien theilweise oder völlig überwuchert und verdrängt haben.

Auch die specifischen Gährproducte, ferner die erwähnten seltener vorkommenden Kohlehydrate, der abgeschiedene S, scheinen regelmässig bei den betreffenden Pilzen gefunden zu werden; das gleiche gilt vermuthlich für die specifischen löslichen Fermente und für die alkaloidartigen Stoffe. Bezüglich der letzteren liegen allerdings für die niederen Pilze noch keine ausreichenden Erfahrungen vor; aber auch hier lässt sich ein Urtheil bilden nach der Analogie der höheren Pflanzen und Pilze, bei denen die ähnlichen Producte constante Merkmale der Art bilden.

Nur unter seltenen eigenthümlichen Bedingungen hat man Ausnahmen von der Regel beobachtet und hat einen Verlust der specifischen Producte constatiren können. So kann man bei den *Bac. butyricus*, einem gährungserregenden Pilz, durch 5ständiges Erhitzen auf 90° oder 7ständiges Erhitzen auf 84° bewirken, dass derselbe sein specifisches Gährvermögen verliert und in dem sonst geeignetem Material nicht mehr wie früher die charakteristischen Producte zu bilden vermag, obwohl er sich dort noch vermehrt (Fitz). Ferner kann man für die Möglichkeit eines Verlustes der Alkaloidproduction die an höheren Pflanzen gemachten Beobachtungen anführen, wonach z. B. der Schierling bei der Cultur in ungeeignetem Boden nur noch geringen Gehalt an Coniin zeigt. Ob es hier zu einem vollständigen Fehlen des Giftstoffes kommen kann, ist freilich noch nicht entschieden. Für eine entsprechende Einbusse der niederen Pilze an giftigen Eigenschaften sprechen weiter gewisse Beobachtungen über die Wirkung der Krankheitserreger, die in einem späteren Capitel ausführlich mitzutheilen sein werden. — Der späteren Darstellung muss auch die nähere Würdigung der hier zusammengestellten Thatsachen für die Lehre von der Constanz der Arten der niederen Pilze vorbehalten werden.

##### 5. Die isolirbaren Fermente.

Fermente definirt man gewöhnlich als complicirte, organische, leicht veränderliche Stoffe, welche innerhalb bestimmter Tempera-

turgrenzen relativ grosse Mengen anderer organischer Stoffe derart umzuwandeln vermögen, dass Körper entstehen von zusammen geringerer Verbrennungswärme als den vorher vorhandenen Stoffen zukam. Ausserdem vermögen sie sämmtlich Wasserstoffsuperoxyd zu zerlegen.

Solche Fermente spielen bei physiologischen Processen, namentlich bei der Ernährung der Organismen, eine bedeutsame Rolle. Sie haben hier, allgemein ausgedrückt, das Vermögen, Stoffe, welche als solche nicht in den Organismus eintreten noch in demselben functioniren können, so umzuwandeln, dass sie löslich, diffundirbar und als Nährstoffe verwendbar werden. Unlösliches Eiweiss wird in Pepton, Stärke und Cellulose in lösliche Dextrose verwandelt; Fett wird gespalten; der nicht in Protoplasma zerlegbare Rohrzucker wird zur leicht zersetzlichen Glycose. Die höchst organisirten Thiere bedürfen dieser Fermente so gut wie die niedersten Geschöpfe; erstere sondern dieselben in besonderen drüsigen Organen ab, aber auch bei den niederen Pilzen, an denen wir keine Organe mehr unterscheiden können, sind nichtsdestoweniger Fermente ein weit verbreitetes und zur Ernährung nothwendiges Stoffwechselproduct.

Bei der Wirkungsweise dieser Fermente ist das auffälligste das, dass eine relativ kleine Menge derselben ausreicht, um eine grosse Quantität des zu zerlegenden Körpers umzuwandeln; die ganze chemische Action scheint daher zu verlaufen, ohne dass das Ferment selbst in Mittheilenschaft gezogen und verändert wird. Dieser Umstand hat eben die Bezeichnung „Fermente“ für die in Rede stehenden chemischen Körper veranlasst und die durch sie angeregten Prozesse in eine Classe mit den Gährungs- und Fäulnissvorgängen setzen lassen. Ja manche Forscher sehen es sogar als wahrscheinlich an, dass noch sämmtliche Gährungsprocesse demnächst auf solche isolirbare chemische Fermente zurückgeführt werden, und glauben, dass dann erst ein eigentliches Verständniss der Vorgänge bei der Gährung möglich sein werde.

Die bisherigen Untersuchungen zwingen uns indessen zu der Annahme, dass die eigentlichen Gärungen und die Wirkungen der isolirbaren, chemischen Fermente von einander ganz verschieden sind, so dass beide getrennt behandelt werden müssen. Wohl aber pflegen die chemischen Fermente bei vielen complicirteren Gährungs- und Fäulnissvorgängen mit betheilig zu sein, und bei der Ernährung und dem Leben vieler Gährungserreger spielen sie eine wesentliche Rolle. Aus diesem Grunde bedürfen die chemischen Fermente auch an dieser Stelle einer näheren Betrachtung.

Wir unterscheiden folgende Arten von isolirbaren Fermenten:



1) Diastatische Fermente, welche auf Körper aus der Gruppe der Kohlehydrate wirken und diese in Glycose überführen. Dahin gehört die in den Pflanzen ausserordentlich weit verbreitete Diastase, welche in den verschiedensten Pflanzenorganen und in besonders grosser Menge in keimender Gerste, im Malz, gefunden wird. Sie verwandelt Stärke in Glycosearten (Maltose, Dextrose), und zwar nicht in alkalischer, wohl aber in schwach saurer Lösung. Sie scheint auch einigen Spaltpilzen, so dem *Bac. butyricus* zuzukommen, da dieser auf Kosten von Stärke zu leben vermag. Uebrigens existiren vielleicht mehrere verschiedene Arten von Diastase, die sich durch die Art ihrer Wirkung und ihr Vorkommen unterscheiden. — Ferner gehören zu den diastatischen Fermenten die im Thierkörper sehr verbreiteten ähnlich wirkenden Körper, so das im Speichel enthaltene Ptyalin und ein Ferment des Pankreassaftes, die bei alkalischer Reaction Stärke in Glycose verwandeln; dann das auf Glycogen einwirkende, namentlich in der Leber enthaltene Ferment. — Ein wichtiges anderes Ferment dieser Gruppe ist das Invertin, welches Rohrzucker in Glycosen (Dextrose und Lävulose) überführt. Dasselbe ist in höheren Pflanzen noch nicht nachgewiesen, obwohl man es auch in diesen vermuthen darf; dagegen findet es sich regelmässig in der gewöhnlichen Hefe, ferner auch in vielen Spalt- und Schimmelpilzen (z. B. *Penicillium*, *Aspergillus*, nicht dagegen in *Mucor* <sup>1)</sup>), welche Rohrzucker als Nährmaterial verwerthen können. — Endlich haben wir in vielen Spaltpilzen, welche Cellulose zu lösen vermögen (vgl. *Bac. amylobacter*, S. 121), ein Ferment anzunehmen, das die Cellulose in Glycose überführt — eine Leistung, die bis zu einem gewissen Grade auch der Diastase zugeschrieben werden muss, da die Cellulosehüllen der Stärkekörner der Umwandlung derselben keinen Widerstand entgegensetzen —; und einigen Spaltpilzen kommt die Fähigkeit zu, Milchzucker in Glycose zu verwandeln.

2) Die zweite Gruppe bilden die peptonisirenden Fermente, welchen die Aufgabe zufällt, die Eiweissstoffe in lösliche diffusibele Form überzuführen. Ausser den hierher gehörigen Fermenten des Magensafts und des Pankreassecrets kommen auch in Pflanzen ähnlich wirkende Körper in ziemlicher Verbreitung vor; so das aus *Carica papaya* dargestellte Papain, das wie der pankreatische Saft in alkalischer Lösung wirksam ist, dann ein pepsinähnliches, bei saurer Reaction wirkendes Ferment in den fleischverdauenden Pflanzen und

1) GAYON, Bull. soc. chim. 35. 58.

in *Aethalium septicum*. Namentlich aber müssen wir peptonisirende Fermente auch als regelmässiges Secret vieler Spaltpilze annehmen, von denen es feststeht, dass sie coagulirtes Eiweiss löslich zu machen und auszunutzen vermögen. — Zu dieser Gruppe mögen auch noch die in ihrer Wirkung etwas abweichenden Fermente gerechnet werden, welche die Käsebildung in der Milch veranlassen: das Lab und das in der Ziegenmilch von MEISSNER (Lit. 118) nachgewiesene, vielleicht in Zellen der Milchdrüse enthaltene Ferment, durch welches die Gerinnung dieser Milch bei Abschluss von Spaltpilzen und bei neutraler Reaction erfolgt. Auch bei einigen Spaltpilzen soll sich ein solches labartiges Ferment finden.<sup>1)</sup>

Von geringerem Interesse sind 3) die Gruppe der Glycoside spaltenden Fermente. Dieselben wirken auf solche Körper, welche durch ätherartige Zusammenlagerung zweier Componenten, also unter Wasserabscheidung, entstanden sind, wobei der eine Component Glycose war. Durch die Fermentwirkung wird Wasser aufgenommen und das Molekül in die ursprünglichen Componenten gespalten; es wird also jedenfalls Glycose und ausserdem ein sehr verschiedenartig ausfallender anderer Körper gebildet. Das bekannteste Beispiel dieses Processes ist die Einwirkung des Ferments Emulsin auf Amygdalin, ferner die des Myrosins auf myronsaures Kalium; eine ähnliche Zerlegung kennt man für das Salicin, das Arbutin, das Coniferin, die Gerbsäure und verschiedene andere Glycoside. Dabei ist es noch nicht sicher gestellt, ob mehrere Glycoside durch dasselbe Ferment, wie z. B. Emulsin, zerlegt werden, oder ob auch hier durchweg specifische Fermente anzunehmen sind; auch über das Vorkommen solcher Fermente in den niederen Pilzen ist nichts genaueres bekannt; 4) ein Ferment, welches die Fette in Fettsäure und Glycerin spaltet, soll im Pankreassecret enthalten sein und findet sich vermuthlich auch in manchen Pflanzen und in niederen Pilzen; 5) ein Ferment, welches gewisse Amidverbindungen unter Wassereinlagerung spaltet und in manchen Spaltpilzen enthalten sein muss; Harnstoff wird so in Ammoniumcarbonat, Hippursäure in Glycocoll und Benzoësäure verwandelt; nur der erstere Vorgang ist jedoch bis jetzt sicher auf ein isolirbares chemisches Ferment zurückgeführt, von dem es zweifelhaft ist, ob dasselbe nur vom sogenannten *Micr. ureae* oder auch von anderen Spaltpilzen secernirt wird (Lit. 80 ff.).

Alle hier aufgezählten Fermente werden zwar von Organismen oder Organen producirt, aber lassen sich von diesen trennen, isolirt

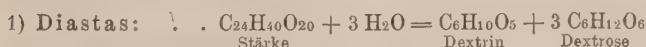
1) DUCLAUX, Compt. rend. Vol. 91. p. 731.

darstellen und zeigen auch dann ihre eigenthümliche Wirkung. Freilich ist es selten gelungen, die Fermente rein zu erhalten. Man gewinnt sie gewöhnlich dadurch, dass man sie aus ihren Lösungen durch Fällungsmittel, wie Alkohol, oder durch absichtlich hervorge-rufene Niederschläge mit zu Boden reisst und dann aus dem Nieder-schlag mit Lösungsmitteln auszieht; dabei bleiben aber stets Spuren anderer Stoffe mit den Fermenten vermenget. Die Analysen der so erhaltenen Körper können daher keinen Anspruch auf grosse Ge-nauigkeit machen, geben aber doch ein ungefähres Bild von ihrer Zusammensetzung. Man fand beispielsweise folgende Zahlen<sup>1)</sup>:

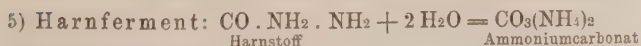
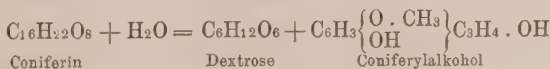
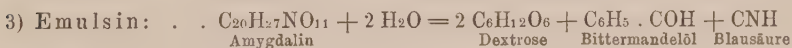
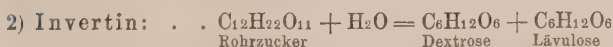
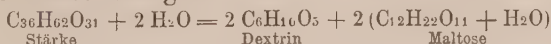
	Kohlenstoff	Wasserstoff	Stickstoff	Schwefel	Asche
Diastas . . .	45,7	6,9	4,6	—	6,1
Invertin . . .	40,5	6,9	9,5	—	—
Emulsin . . .	48,8	7,1	14,2	1,3	—
Papaïn . . .	52,2	7,1	16,4	—	—

Auch eine völlige Befreiung der isolirten Fermente von etwa anhaftenden Spaltpilzen ist schwer durchzuführen, und das Studium ihrer speciellen Wirkungen ist nur dann möglich, wenn man die durch das etwaige Eindringen von Pilzen gegebene Fehlerquelle hin-reichend berücksichtigt.

Die Art ihrer Wirkung lässt sich allgemein dahin characterisiren, dass sie hydrolytische Spaltungen hervorrufen; die zerlegbaren Substanzen werden sämmtlich unter Aufnahme von einem oder mehre-ren Molekülen Wasser in 2 oder mehr Moleküle gespalten. Die wich-tigsten der oben angeführten Fermentwirkungen sind folgende:



oder nach neueren Anschauungen:



1) Vgl. MAYER, Die Lehre von den chemischen Fermenten. Heidelberg 1882.

Für die peptonisirenden Fermente lässt sich noch keine einigermaßen sichere chemische Gleichung aufstellen; doch wird auch hier vermuthlich Wassereinlagerung stattfinden. Ebenso geht möglicherweise die Zerlegung des myrnsauren Kaliums mit Wasseraddition vor sich; die oben gegebene Gleichung kann nur als eine provisorische angesehen werden, da genauere Studien über den Vorgang und über die Constitution der Myrnsäure fehlen.

Die Leistungen aller isolirbaren Fermente läuft also nur auf die hydrolytische Spaltung einiger Moleküle hinaus. Ganz dasselbe bewirken zahlreiche andere chemische Körper; beim Kochen mit verdünnter Schwefelsäure erleidet Stärke eine ganz ähnliche Umwandlung wie durch Diastas, Rohrzucker dieselbe Verwandlung in Dextrose und Lävulose wie durch Invertin; überhitzter Wasserdampf spaltet die Fette; anhaltendes Kochen mit Wasser peptonisirt das Eiweiss. Als Differenz zwischen der Wirkung dieser chemischen Eingriffe und der der Fermente hat man wohl hervorgehoben, dass letztere sich selbst so wenig an der Umsetzung betheiligen, dass sie unbegrenzte Mengen des zerlegbaren Körpers spalten können; aber eine solche unbegrenzte Wirkung scheint den Fermenten gar nicht zuzukommen. Vielmehr hat man für Pepsin, Ptyalin, Diastas u. s. w. deutliche Grenzen der Wirksamkeit constatiren können; so dass Diastas z. B. in maximo die 2000fache Menge Stärke umzuwandeln vermag. Unter den gewöhnlichen Umständen wird kaum die Entfaltung dieser ganzen Kraft zu Tage treten, da eine Schädigung des Ferments durch die Aenderungen des Substrats oder eine theilweise Ausfällung durch Niederschläge in den meisten Flüssigkeiten eintreten wird.

Die Empfindlichkeit der Fermente gegen äussere Einflüsse ist eine ziemlich grosse. Was zunächst die Temperatur anlangt, so besteht für jedes Ferment ein Optimum der Wirkung, das aber wiederum nicht für alle Fälle constant ist, sondern von den gleichzeitigen sonstigen Umständen abhängt. Für Diastas liegt das Optimum etwa bei  $63^{\circ}$ , für Emulsin bei  $50^{\circ}$ , für Ptyalin bei  $35-40^{\circ}$ . Schon bei  $+5^{\circ}$  ist diastatische Wirkung beobachtet worden; von da steigt dieselbe mit zunehmender Temperatur bis zum Optimum. Zwischen  $65^{\circ}$  und  $75^{\circ}$  beobachtet man gewöhnlich schon völliges Aufhören der Fermentwirkung und dauerndes Sistiren der fermentirenden Kraft; je länger die Erwärmung dauert, um so niedrigere Temperaturgrade reichen zu dieser Wirkung aus. Glycerinbeimengung lässt die schädliche Temperatur höher rücken, Alkoholzusatz wirkt in umgekehrtem Sinne. Diese Zahlen gelten jedoch nur für feuchte Präparate; in trockenem Zustande können die isolirten Fermente



auf 120—160° erhitzt werden, ehe sie eine Schädigung erfahren. — Von sonstigen einflussreichen Momenten sei erwähnt die Reaction des Mediums; Alkaliüberschuss ist den meisten Fermenten schädlich; geringe Säuregrade werden besser ertragen, einige Fermente wie Pepsin, Diastas bedürfen sogar zur vollen Entfaltung ihrer Wirksamkeit einer schwach sauren Reaction, andere, wie Emulsin, werden schon durch Salzsäure von 0,15 pro mille in ihrer Wirkung gehemmt (FALK); stärkere Säuregrade wirken durchweg schädlich. — Die Salze der schweren Metalle und sonstige Eiweiss fällende Mittel wirken selbstredend nach Art von Giften. Phenol soll die Wirksamkeit von Emulsin und Ptyalin beeinträchtigen, Diastas wenig afficiren; dagegen schädigen Blausäure, Chloroform, Aether, Benzol, Terpentinöl die isolirten Fermente fast gar nicht; und z. B. durch Ammonsalze (bis 10 %) und durch Alkaloide, wie Veratrin, Curare wurde die Invertirung des Rohrzuckers sogar sehr begünstigt.

Die meisten Fermente wirken nur auf eine bestimmte Art von chemischen Körpern; nur die nächstverwandten Verbindungen pflegen durch dieselben Fermente gespalten zu werden. So zerlegt das Emulsin mehrere Glycoside; aber andererseits wirkt z. B. Invertin nicht auf Milchzucker, Dextrin, Maltose, Stärke; Diastas nicht auf Rohrzucker oder auf Glycoside. Manche der hierher gehörigen Angaben scheinen übrigens noch unsicher zu sein. — Sind mehrere chemische Fermente in derselben Lösung, so können sie sich gegenseitig zerstören; Pepsin verdaut das Trypsin und das Ptyalin. Dies gilt aber keineswegs für alle Fermente, denn Diastas und Lab schädigten sich z. B. gar nicht.

Ueber die Art und Weise, wie die Wirkung der löslichen Fermente zu Stande kommt, kann man sich keine bestimmte Vorstellung machen. Es lässt sich denken, dass vielleicht das Ferment dadurch als Uebertrager des einzulagernden Wassers wirke, dass es zunächst selbst das Wasser aufnimmt und es dann den zu spaltenden Molekülen abgibt. Oder nach BUNSEN-HÜFNER hat man sich die Contact- und Fermentwirkung so vorzustellen, dass das Ferment nach Art der Schwefelsäure bei der Aetherbildung gewisse Atome oder Atomgruppen des zu spaltenden Moleküls stärker anzieht als den Rest und dadurch eine neue Gruppierung der Atome hervorbringt, nach deren Vollendung es dann wieder regenerirt wird. Beiden Hypothesen fehlt es noch an einer Stütze durch thatsächliche Nachweise, dass Wasseraufnahme oder solche Bindungen des Ferments stattfinden. Eine dritte, von NÄGELI ausgesprochene Anschauung, schliesst sich der letztgenannten an, harmonirt aber ausserdem mit NÄGELI's

unten zu besprechender Hypothese über den Vorgang bei der Gährung; danach sollen die Fermente nicht etwa selbst Verbindungen eingehen, sondern nur durch die Bewegungszustände ihrer Moleküle auf bestimmte Atomgruppen wirken und so eine Umlagerung und Neu-gruppierung hervorbringen.

Wie aber auch die Deutung dieser Fermentwirkung ausfallen mag, das eine ist klar, dass wir es hier mit ganz andersartigen Vorgängen, als bei den eigentlichen Gährungserscheinungen zu thun haben. Bei diesen finden wir keine isolirbare, lösliche, chemische Fermentstoffe, deren Masse während der Fermentwirkung dieselbe bleibt oder sich verringert, die bei einer Temperatur von ca 60° am besten wirken, die durch Chloroform, Aether, Blausäure nicht alterirt werden, die nur hydrolytische Spaltung einiger chemischer Körper veranlassen, und die in dieser ihrer Wirkung leicht durch verdünnte Mineralsäure und andere Agentien vertreten werden können. Bei der Gährung und Fäulniss handelt es sich vielmehr um eine physiologische Leistung lebender Organismen, die an das Leben dieser Organismen gebunden ist; die Menge der letzteren vermehrt sich proportional der Gährintensität; das Temperaturoptimum liegt meist bei 40°; durch Gifte wie Chloroform, Aether wird ihr Leben und ihre Gährwirkung gestört; der Vorgang der Gährung selbst besteht in einer complicirten Aenderung der Atomgruppierung, die häufig durch keine anderen Mittel, oder nur durch sehr kräftige, zerstörend wirkende erzielt werden kann. — So scheiden sich Wesen und Leistungen der isolirbaren Fermente und der Gährorganismen aufs schärfste von einander, und es ist gewiss nicht zu erwarten, dass die Gährerscheinungen sich demnächst ebenfalls auf isolirbare chemische Moleküle zurückführen lassen.

#### 6. Gährungserregung.

Unter besonderen Umständen tritt eine Abweichung im biologischen Verhalten der Mikroorganismen ein, welche mit einer tief eingreifenden Zersetzung und Consumption des Nährmaterials und mit der Bildung eigenartiger, durch Qualität und Quantität auffallender Producte einhergeht. Unter den letzteren pflegen namentlich entweichende Gase eine wichtige Rolle zu spielen; ferner entstehen dabei stets Körper von zusammen geringerer Verbrennungswärme, als diejenigen Stoffe, aus denen sie gebildet sind, so dass also bei der Zerlegung immer lebendige Kraft frei wird. Die Gesamtheit dieser Erscheinungen pflegt man als Gährung zu bezeichnen.

Auch die Gährung ist jedenfalls in letzter Instanz auf die Zersetzungen im Protoplasma, auf die intramolekuläre Athmung zurück-

zuföhren. Man kann sich vorstellen, dass sich die Gährung aus dieser entwickelte, und dass die Gährung ursprünglich nur einen Act der Selbsterhaltung darstellte, bedingt durch das fortgesetzte Fehlen des Sauerstoffs. Ohne die rege Verbrennung mit Hülfe des Sauerstoffs vermag die innere Athmung allein nicht hinreichend Betriebskraft zu liefern; — da tritt nun bei Abwesenheit des Sauerstoffs eine zwar oberflächliche, aber um so umfangreichere Spaltung des Nährmaterials ein, und dadurch werden die Kräfte gewährt, welche zum vollen Leben der Mikroorganismen nöthig sind. Im Laufe der weiteren Entwicklung theilen sich dann die Organismen in 2 grosse Gruppen; bei den einen bleibt das Vermögen der Gährungserregung auf die Nothlage beschränkt, welche das Fehlen des Sauerstoffs herbeiführt; die anderen aber haben allmählich die jenen besonderen Verhältnissen angemessene Gährwirkung als constante Eigenschaft ausgebildet; sie erregen Gährung, auch wenn reichlicher Sauerstoffzutritt sie eigentlich dieser Nothwendigkeit überhebt, sobald ihnen nur überhaupt gährfähiges Material geboten ist.

Unabweisliches Erforderniss für das Zustandekommen von Gährwirkung ist vergärbare Substanz. Als solche ist nur eine beschränkte Anzahl von chemischen Körpern geeignet; nicht jede der überhaupt vergärbaren Substanzen vermag ausserdem jedem beliebigen Gährungserreger zu dienen, sondern eine Substanz wird nur durch einen oder wenige Organismen zerlegt, und jeder Organismus ist nur auf einige wenige adäquate Substanzen angewiesen. Für viele Mikroorganismen ist bis jetzt noch überhaupt kein Körper bekannt, den sie durch Gährung zu zerlegen vermögen. Möglich, dass diese stets nur auf den gewöhnlichen Athmungsstoffwechsel angewiesen sind; möglich dass noch für den einen oder anderen Spaltpilz die adäquate, durch Gährung zerlegbare Substanz gefunden wird.<sup>1)</sup>

Beschaffenheit und Kennzeichen des zur Gährung tauglichen Materials sowie Art und Weise der Zerlegung dieses Materials durch die Gährung lassen sich erst nach der Betrachtung der Einzelfälle erkennen und deutlich machen. Von solchen speciellen Gährungen

---

1) Da die erstere Möglichkeit einstweilen noch besteht, ist die COHN'sche Eintheilung der Spaltpilze schon aus diesem Grunde eigentlich unzulässig. Wenn im vorstehenden Abschnitt dennoch diese Eintheilung beibehalten wurde, so geschah das, weil bisher noch kein besseres System in Vorschlag gebracht und es nicht wohl Sache eines wesentlich für Mediciner bestimmten Handbuchs ist, mit einem neuen System hervorzutreten. Es ist aber zu hoffen, dass in den nächsten Jahren auch der Reform der Systematik ein Theil der Arbeit zugewendet wird, welche jetzt in so fruchtbringender Weise auf die übrigen Gebiete der Mykologie sich vertheilt.

unterscheidet man eine ganze Reihe, die entweder nach einem oder einigen charakteristischen Producten, oder zuweilen auch nach dem Gährmaterial oder endlich nach dem Gährungserreger bezeichnet werden. Im Folgenden ist zunächst die Gährung der Hefepilze besprochen; sodann die verschiedenen Spaltpilzgährungen, die sich in 5 Gruppen theilen lassen, nämlich:  $\alpha$ ) die Gährung der Kohlehydrate;  $\beta$ ) die Vergährung der mehrwerthigen Alkohole (Glycerin, Erythrit, Mannit);  $\gamma$ ) die Gährung der Fettsäuren;  $\delta$ ) die Fäulniß;  $\epsilon$ ) die Essigbildung aus Alkohol.

#### *A. Die alkoholische Gährung des Zuckers durch Hefe.*

Das Material für die Gährung liefern die Glycosen von der Formel  $C_6 H_{12} O_6$ , nämlich Dextrose, Lävulose, Lactose oder Galactose; ferner die Maltose, welcher die Formel  $C_{18} H_{34} O_{17}$  gegeben wird, und welche demnach erst durch Wasseraufnahme dieselbe Zusammensetzung wie die Glycosen erlangt. Die Dextrose bildet das günstigste Material; wird sie mit einer anderen Glycose, z. B. Lävulose, gemischt der Gährwirkung ausgesetzt, so geht zunächst die Dextrose Gährung ein. — Rohrzucker und Milchzucker vergähren erst, wenn sie in Glycosen übergeführt sind; der erstere kann durch Invertin (also namentlich durch Hefe) die Umwandlung in Dextrose und Lävulose erleiden, letzterer geht durch ein Ferment einiger Pilze in Galactose und Dextrose über; beide können ferner durch Kochen mit verdünnten Mineralsäuren in dieselben Glycosen übergeführt werden. — Auch die übrigen Kohlehydrate, Stärke, Gummi, Cellulose können durch Fermente oder beim Behandeln mit Säuren in Glycose verwandelt werden; Stärke geht durch Ptyalin in Dextrose, durch Diastase (Malz) in Maltose, durch Säuren in Dextrose über. — Alle die letztgenannten Kohlehydrate können demnach ebenfalls zur Gährung dienen, wenn nur gleichzeitig die Fermente im Gährgemisch vorhanden sind, welche sie in Glycosen überführen; und da diese Fermente gerade von denselben Organismen, welche die Gährung veranlassen, in reichlicher Menge abgesondert zu werden pflegen (Invertin von Hefe, Milchzucker umwandelndes Ferment von Spaltpilzen), so hat praktisch die Unfähigkeit des Rohrzuckers, der Stärke u. s. w., direct zu vergähren, wenig Bedeutung, und die Gährung tritt oft bei Anwesenheit dieser Stoffe und bei Abwesenheit der direct zerlegbaren Glycosen, höchstens etwas verzögert, ein. Durch die Ausstattung mit Glycose bildenden Fermenten ist somit den Gährungserregern der Kreis ihrer Lebens- und Wirkungsfähigkeit bedeutend erweitert.



Die spezifische Zerlegung der Glycosen in Alkohol und Kohlensäure kommt lediglich der Hefe zu; aber nicht alle Arten von *Saccharomyces* vermögen gleich energisch Gährung zu veranlassen. Am kräftigsten wirken 2 Arten, die Bier- und die Weinhefe. Die erstere wird fortwährend in Bierwürze gezüchtet; eine neue Gährung wird dadurch eingeleitet, dass Hefe aus vergohrener Bierwürze neuer Gährflüssigkeit zugesetzt wird. Je nach dem mehr oder weniger stürmischen Verlauf der Gährung wird Oberhefe resp. Unterhefe gewonnen; bei ersterer bilden sich die Sprossungen rascher aus, es entstehen zusammenhängende Zellcomplexe und diese bieten dem  $\text{CO}_2$ -Strom bessere Angriffspunkte, so dass sie nach der Oberfläche gerissen werden (vgl. S. 84). — Die Weinhefe, *S. ellipsoideus*, ist die in der Natur verbreitetste Hefeform, etablirt sich spontan in den verschiedensten zuckerhaltigen, dem Luftzutritt ausgesetzten Flüssigkeiten oder gelangt in diese z. B. durch die Hüllen der Weinbeeren, auf denen sie wohl stets gefunden wird. — Die übrigen Hefeformen, *S. apiculatus*, *exiguus* u. s. w., scheinen sämtlich eine viel geringere Wachstumsenergie und Gährwirkung zu besitzen; von einigen, wie von der Rosahefe, ist noch keine Gährwirkung constatirt; *Mycoderma* erregt nur wenn er künstlich gezwungen wird, in Flüssigkeiten untergetaucht zu vegetiren, eine kurzdauernde und geringfügige Gährung.

Weit stärker noch als diese letzten, kaum mehr den spezifischen Gährungserregern zuzurechnenden Formen wirken die hefeartigen Vegetationen von Schimmelpilzen gährungserregend, deren bekanntestes Beispiel die Kugelhefe von *Mucor racemosus* darstellt. Dieser Pilz, in Zuckerlösung untergetaucht, verursacht eine ziemlich energische Zerlegung des Zuckers und Bildung von Alkohol und  $\text{CO}_2$ , während er gleichzeitig in seinen Form- und Wachstumsverhältnissen sich der Hefe nähert. — Während wir daher die *Mucorhefe* in gewissem Sinne noch den Gährungserregern zurechnen müssen, ist dies keinesfalls statthaft bei den anderen Schimmelpilzen, von denen es ebenfalls bekannt ist, dass sie unter Umständen in Zuckerlösung eine Bildung von Alkohol und  $\text{CO}_2$  veranlassen (*Penicillium*, *Oidium lactis* u. s. w.). Diese bilden nur dann Alkohol und  $\text{CO}_2$ , wenn sie sich bei Abschluss des Sauerstoffs in Zuckerlösung befinden; damit leisten sie aber nichts anderes, als die Zellen beliebiger höherer Pflanzen, und die Bildung von Alkohol und  $\text{CO}_2$  kommt einfach durch intramolekuläre Athmung zu Stande. Characteristisch für die Gährung der Hefe ist daher nicht die Production von Alkohol und  $\text{CO}_2$ ; sondern nur die massenhafte Bildung dieser Körper aus bestimmten Zuckerarten; und weiter noch der Umstand, welcher unten

näher berücksichtigt werden wird, dass Sauerstoffzufuhr die Bildung der characteristischen Producte nicht hemmt, sondern eher fördert.

Die Gährwirkung der Hefe kann zuweilen unterstützt werden durch den Einfluss anderer Pilze. So vermögen in Gährgemischen vorhandene Spaltpilze oft durch abgesonderte Fermente unlösliche Kohlehydrate, wie Stärke, Cellulose, in lösliche Glycosen zu verwandeln, die dann erst von gleichzeitig vorhandenen Hefeorganismen als Gährmaterial benutzt werden können, wenn jene Spaltpilze nicht selbst eine Gährwirkung auf das umgebildete Material ausüben vermögen; während andererseits auch oft durch die Vegetation von Hefe (*Mycoderma*) erst allmählich anderen Pilzen der Boden geebnet wird. Dieser Umstand muss zur Erklärung herangezogen werden, wenn eine scheinbare directe Vergährung von solchem Material zur Beobachtung gelangt, welches notorisch ungeeignet zur Vergährung ist.

Die Art und Weise der Zerlegung von Glycose durch die Hefegährung hat man früher durch eine sehr einfache chemische Gleichung dargestellt. Man glaubte, dass eine Spaltung des Glycosemoleküls in 2 Moleküle Alkohol und 2 Moleküle CO<sub>2</sub> stattfinde:

$$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 = 2 \text{C}_2\text{H}_5.\text{OH} + 2 \text{CO}_2.$$

Glycose                      Aethylalkohol

PASTEUR zeigte indess, dass regelmässig noch eine Reihe von anderen Producten auftritt, selbst wenn möglichst reines Gährmaterial und reine Hefe benutzt wird; er fand im Durchschnitt 2,5—3,6 Procent des vergohrenen Zuckers in Form von Glycerin (C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>(OH)<sub>3</sub>) und 0,4—0,7 % in Form von Bernsteinsäure (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>(COOH)<sub>2</sub>); ausserdem constant Spuren von Essigsäure, oft andere Alkohole, wie Amylalkohol u. s. w. Man hat der Bildung dieser Nebensubstanzen durch eine Gleichung von der Form:

$$49 (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) + 30 \text{H}_2\text{O} = 12 \text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4 + 72 \text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3 + 30 \text{CO}_2 \quad (\text{PASTEUR})$$

Glycose                      Bernsteinsäure                      Glycerin

oder von der Form:  $4 (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) + 3 \text{H}_2\text{O} = \text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4 + 6 \text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3 + 2 \text{CO}_2 + \text{O}$  (MONOYER), zu genügen gesucht, aber ohne dass es dadurch gelungen wäre, die quantitativen Verhältnisse richtig zur Anschauung zu bringen. — Dieselben Nebenproducte findet man auch bei der Gährung durch *Mucor*hefe; wenigstens konnte hier FITZ mit Sicherheit Bernsteinsäure nachweisen. Ferner fand BREFELD, dass die Nebenproducte sich um so reichlicher bilden, je ungünstiger die Nährbedingungen für den betreffenden Gährungserreger liegen; gegen Ende der Gährung scheinen sich jene Stoffe anzuhäufen, und solche Gährungserreger, welche nur mühsam eine Gährung unterhalten und eigentlich auf andere Existenzbedingungen angewiesen sind, liefern besonders reichlich Nebenproducte, *Mucor mucedo* mehr als *Mucor racemosus* und *Mucor stolonifer* mehr als ersterer.

Man könnte vielleicht der Meinung sein, die Nebenproducte würden nur bedingt durch unreines Gährmaterial oder durch beigemenzte andere Pilze; aber auch bei äusserster Vorsicht und mit besonderer Berücksich-

tigung dieser Fehlerquellen sind dieselben Nebenproducte beobachtet. Lässt man Verunreinigungen zu, so bilden sich in Folge dessen noch zahlreichere Producte, die dann aber nicht constant sind und demnach mit der eigentlichen Gährung nichts zu thun haben. — Ferner könnte man denken, dass vielleicht Bernsteinsäure, Glycerin u. s. w. als spezielle Stoffwechselproducte der Hefe aufzufassen seien. Man muss ja in der That annehmen, dass neben der Spaltung des Zuckers noch Zerlegungen und bei Sauerstoffzufuhr auch Oxydationen complicirterer, aus N-haltigen und N-losen Atomcomplexen aufgebauter Moleküle des Protoplasmas der Hefe stattfinden, in Folge dessen die gewöhnlichen Producte des destruierenden Stoffwechsels im Gährgemisch auftreten müssen. Aber diese Producte sind schwerlich mit jenen bei der Gährung nebenher auftretenden Substanzen identisch; die Menge der letzteren ist viel zu beträchtlich, und auch ihre Qualität ist eine zu eigenthümliche. Ferner müsste in diesem Falle die Menge der Nebenproducte der Menge der vorhandenen lebenskräftigen Hefezellen proportional sein und zunächst also von der Quantität der Aussaat abhängen. Von einem derartigen Verhalten wurde aber bis jetzt nichts beobachtet, und so werden wir annehmen müssen, dass die Zerspaltung des Zuckers in seiner weitaus grössten Menge beim Gährungsact nach einer complicirteren Gleichung, unter regelmässiger Bildung von Glycerin und Bernsteinsäure erfolgt. Ein kleiner Bruchtheil des Zuckers wird zum Aufbau N-haltiger complicirter Moleküle verwandt werden und die so gebildete Substanz wird theils der Neubildung von Zellen dienen, theils der Zerstörung anheimfallen; aber die so entstehenden Stoffwechselproducte sind nicht mit den genannten, regelmässigen Nebenproducten der Gährung identisch.

Eine ganz besondere Beachtung ist von vielen Forschern der sogenannten Selbstvergährung der Hefe geschenkt. Dieselbe findet statt, wenn grössere Mengen frischer, lebenskräftiger Hefe mit reichlich Wasser, ungenügendem Luftzutritt und günstiger Temperatur (25—30 °) sich selbst überlassen werden. Es wird unter diesen Umständen reichlich  $\text{CO}_2$  und Alkohol gebildet, die Hefe geht in einen erweichten Zustand über, und lässt dann in ein Extract mit warmem Wasser zahlreiche Stoffe übertreten, die als Zerfalls- und Stoffwechselproducte gedeutet werden. Nach den Untersuchungen von BÉCHAMP und von SCHÜTZENBERGER enthielt das Waschwasser albuminartige Substanzen, Gummi, ein linksdrehendes Ferment, sogenannte Zymase, Pseudoleucin (dem wechselnde Mengen von Schwefel beigemengt sind), Tyrosin, Butalanin, Carnin, Xanthin, Guanin, Sarkin. — Die letztgenannten Stoffe rühren offenbar von einer Zerlegung von Eiweissstoffen her; die Production von  $\text{CO}_2$  und Alkohol kann man aber nur dadurch erklären, dass entweder vergährbarer Zucker in der Hefe vorhanden war, oder dass irgend ein Bestandtheil der Hefe sich leicht in Zucker umwandelte; und als Muttersubstanz des Zuckers können dann entweder zur Gruppe der Kohlehydrate ge-



hörige Körper, wie Cellulose, Gummi, angesprochen werden, oder aber Proteinsubstanzen. Nach PASTEUR finden sich nun stets in der Hefe zuckerähnliche Stoffe, die als solche schwer extrahirbar sind, aber z. B. durch Mineralsäuren die Umwandlung in Zucker erleiden; und diese, sowie die Cellulose der Zellmembran liefern nach PASTEUR'S Annahme die bei der Selbstvergähung entstehenden Gährproducte. Eine wesentlich andere Anschauung vertrat aber LIEBIG; derselbe fand in einigen Versuchen bei der Selbstvergähung der Hefe so grosse Mengen von Alkohol und  $\text{CO}_2$  (8—13,5% Alkohol vom Trocken- gewicht der Hefe), dass der gesammte Gehalt der Hefe an Cellulose und sonstigen Kohlehydraten nicht ausreichte, um diese Menge von Gährproducten zu liefern, sondern dass zur Erklärung der letzteren nothwendig noch eine Spaltung von Eiweiss-Substanzen in ziemlichem Umfange herangezogen werden musste. LIEBIG legte gerade auf diese Spaltung der Eiweissstoffe das grösste Gewicht, weil er darin den eigentlich wesentlichen, constanten Vorgang bei der Gähung sah; nach seiner Auffassung beruht das Wesen des Gährungsprocesses überhaupt nur darauf, dass eine solche complicirte, in Zersetzung begriffene Proteinsubstanz ihre chemische Bewegung auf andere (Zucker-) Moleküle überträgt.

NÄGELI'S neuere Versuche lehren jedoch aufs deutlichste, dass bei der Selbstvergähung der Hefe nicht ein solcher auf die Hefe beschränkter und nur von dieser abhängiger Process stattfindet; sondern dass in den früheren Versuchen zweifellos Spaltpilze mitgewirkt und sich an der Zersetzung der Hefesubstanz betheiligt haben. In der That sind die beschriebenen Umstände, unter denen die Selbstvergähung beobachtet wird, derart, dass eine lebhafte Entwicklung von Spaltpilzen nothwendig eintreten musste; diese haben sich auf Kosten der abgestorbenen Hefezellen ernährt und vermehrt und haben vermuthlich auch Gährungsvorgänge in den durch abgesonderte Fermente löslich gemachten Stoffen der Hefesubstanz erregt. Eine Menge der im Extract gefundenen N-Derivate kann von der Thätigkeit dieser Spaltpilze herrühren; ebenso können sie an der Production von  $\text{CO}_2$  und Alkohol wesentlich betheiligt sein. Wenn NÄGELI die Versuche so anstellte, dass z. B. durch Zusatz von Citronensäure die Ansiedlung von Spaltpilzen erschwert wurde, wurden immer nur minimale Spuren von Alkohol gefunden, die vielleicht davon herrühren, dass die geringen Mengen zuckerartiger Substanz, welche in der Hefezelle enthalten sind, zur Vergähung gelangen, wenn der Hefe kein zuckerhaltiges Nährmaterial geboten ist. Dieser Vorgang würde den Zerlegungen im hungernden Thier ganz analog sein. Dass aber



weiterhin auch die Proteinsubstanz der erschöpften Hefezellen von anderen lebenskräftigen Hefezellen verarbeitet werden kann, dafür fehlen alle Anhaltspunkte; schon für ein Löslichmachen dieser Substanzen vermisst man in der Hefe die dazu nothwendigen Fermente. — Fortgesetzte, auf Reinheit der Cultur bedachte Experimente werden daher erst über den wirklichen Umfang der Selbstvergähmung der Hefe und über die dabei gebildeten Stoffwechselproducte Aufschluss geben können.

Die quantitativen Verhältnisse der Gährung unterliegen je nach der Menge des Nährmaterials, der Hefeaussaat, der Gährungsdauer u. s. w. bedeutenden Schwankungen, und namentlich sind dieselben auch von äusseren Einflüssen sehr abhängig. Der Zuckergehalt der zu vergärenden Lösung darf nicht über 35 % hinausgehen, da sonst die Hefezellen unter zu starker Wasserentziehung leiden; am besten scheint ein Zuckergehalt von 2—4 %, und dann von 20—25 % zu sein (WIESNER); doch bedarf die auffallende Aufstellung zweier Optima noch der Bestätigung. Die Menge der zugesetzten Hefe ist von einer gewissen Grenze ab für den Verlauf der Gährung irrelevant; DUMAS<sup>1)</sup> fand, dass 1 Grm. Zucker durch 20 Grm. Hefe bei 24° innerhalb 24 Minuten vollständig zerlegt wird; Zusatz von 100 Grm. Hefe änderte an diesem Resultat nichts. Bei reichlicher Hefeaussaat tritt auch in reinen Zuckerlösungen intensive Gährung ein, die schliesslich unter Zurücklassung einer erschöpften und N-armen Hefe aufhört; soll eine anhaltende Gährung mit relativ kleinen Hefemengen eingeleitet werden, so ist die Zufuhr anderweitiger Nährstoffe, namentlich N-haltiger, erforderlich (vgl. S. 173). Sauerstoffzufuhr begünstigt in jedem Falle die Gährung; vorzugsweise dann, wenn gleichzeitig die Nährstoffe für die Hefe im Gährungsgemisch enthalten sind, weil dann eine viel lebhaftere Vermehrung der Zellen vor sich gehen kann (NÄGELI). — Im übrigen wird der Fortdauer der Gährung ein Ziel gesetzt durch die Ansammlung des Alkohols; ein Gehalt von 12 % hemmt das Wachsthum der Hefe und bei mehr als 14 % Alkohol sistirt jede Gährung. Für *Mucor*hefe liegt diese Grenze bereits viel tiefer, bei 3¼—4 % (für *Mucor stolonifer* gar bei 1,3 %); dieselbe Hefeform ist auch gegen stärkere Concentration der Zuckerlösung viel empfindlicher, da nur in Lösungen von weniger als 7 % Zucker ausgiebige Gährung eintritt (FITZ). — Von äusseren Einflüssen kommt vor allem die Temperatur in Betracht; im Allgemeinen betrachtet man 25° als die günstigste Temperatur, doch ist dies Optimum unter dem Einfluss der verschiedensten Factoren verschiebbar. Von chemischen Agentien,

1 Ann. de chim. et de phys. 1874. Vol. III.

welche die Gährung stören oder hemmen, seien erwähnt freie Alkalien, ferner schweflige Säure, Sublimat, Chloroform; während Schwefelwasserstoff, arsenige Säure, Carbolsäure, Salicylsäure, Strychnin, Blausäure erst in grösserer Concentration oder gar nicht die Hefegährung verhindern.

### *B. Gährungen durch Spaltpilze.*

α) Vergährung der Kohlehydrate. Die Kohlehydrate liefern mit verschiedenen Spaltpilzen eine Milchsäure-, eine schleimige oder Mannitgährung, eine Buttersäuregährung, endlich eine Gährung, bei der wesentlich Aethylalkohol gebildet wird.

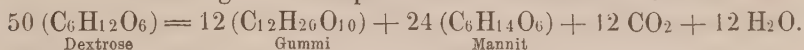
Milchsäuregährung entsteht in Lösungen von Traubenzucker, Milchzucker, Inosit, Sorbin (ferner Mannit, Sorbit) durch einen Spaltpilz, der gewöhnlich als kurzes, in der Mitte eingeschnürtes Stäbchen beschrieben wird, aber noch nicht mit Sicherheit isolirt ist. Die Gährung tritt besonders leicht ein in der Milch, deren spontane Säuerung und Gerinnung durch Milchsäurebildung bedingt ist; ferner wird sie beobachtet bei der Bereitung des Sauerkrauts, im Zuckerrübensaft und bei der Stärkefabrikation. Künstlich leitet man Milchsäuregährung am besten dadurch ein, dass man Rohrzuckerlösung von geringer Concentration mit etwas altem Käse und mit geschlemmter Kreide versetzt und bei 30—35° mehrere Tage stehen lässt; man kann dann den gebildeten milchsäuren Kalk mittelst einfacher Methoden gewinnen (vgl. SCHÜTZENBERGER, l. c. S. 172). Das Milchsäureferment scheint gegen die freie Milchsäure ziemlich empfindlich zu sein, da die Gährung bald aufhört, wenn nicht Kalk oder Zinkoxyd zur Neutralisation und Ausfällung der Säure geboten sind; auch Alkohol stört die Milchsäuregährung schon in geringer Dosis und erleichtert dadurch der Hefegährung die Concurrenz. — Ausser Milchsäure werden jedenfalls noch Nebenproducte gebildet, die aber noch nicht genügend erforscht sind. Stets scheint CO<sub>2</sub>-Entwicklung mit der Gährung verbunden zu sein. Von den übrigen hier und da noch beobachteten Gährproducten (Alkohol, Buttersäure, Mannit, Gummi) ist es durchaus zweifelhaft, ob sie der Milchsäuregährung als solcher zugehören, oder aber der gleichzeitigen Anwesenheit anderer Fermente ihre Entstehung verdanken. Früher hat man die Zerlegung des Zuckers bei der Milchsäuregährung durch die einfache Gleichung:



zu erläutern gesucht; dass diese dem wirklichen Vorgang nicht entspricht, geht schon aus der Thatsache der steten CO<sub>2</sub>-Entwicklung hervor, der in der Gleichung nicht Rechnung getragen ist. Eine Auf-

klärung der Milchsäuregährung, sowohl bezüglich des Ferments, wie hinsichtlich des chemischen Vorgangs, muss daher von späteren Untersuchungen erwartet werden.

Auch über die sogenannte schleimige Gährung oder Mannitgährung ist wenig sicheres bekannt. Das Material für dieselbe liefern Dextrose und Invertzucker; das Ferment soll nach PASTEUR (Bull. de la soc. chim. 1861, 30) ein Mikrooccus sein (vgl. S. 98). Die Gährung zeigt sich oft in bestimmten Weinen (namentlich weissen), in zuckerhaltigen Säften von Rüben, Möhren, Zwiebeln u. s. w.; die ergriffenen Flüssigkeiten werden schleimig und fadenziehend.<sup>1)</sup> Künstlich erhält man diese Gährung am besten mit Bierhefeabkochung, die filtrirt und mit Zucker versetzt ist, oder mit zuckerhaltigem Stärke-, Reis- oder Gerstenwasser; das Temperaturoptimum ist etwa 30°. Als Gährungsproducte sollen constant eine Gummiart, die dem Dextrin nahe steht und von BÉCHAMP neuerdings mit dem Namen „Viscose“ belegt ist (Compt. rend. 93, 78), ferner Mannit und CO<sub>2</sub> auftreten; zuweilen und wohl unter dem Einfluss anderer Fermente werden auch Milchsäure, Buttersäure, Essigsäure und Wasserstoffgas beobachtet. Aus 100 Theilen Zucker erhält man in günstigen Fällen 51,1 Theile Mannit, 45,5 Theile Gummi und 6,2 Theile CO<sub>2</sub>; danach findet diese Gährung einen entsprechenden Ausdruck durch die Formel:



Ueber einige weitere Gährungen von Kohlehydraten hat FITZ berichtet, dessen zahlreiche Untersuchungen über Spaltpilzgährungen uns mancherlei Aufschlüsse bezüglich der dabei stattfindenden chemischen Umsetzungen gegeben haben; allerdings sind auch diese Versuche häufig nicht mit rein gezüchteten Fermentorganismen angestellt, wenn freilich auf dieses wichtige Moment schon weit mehr Sorgfalt als in früheren Versuchen verwandt wurde. — Nach FITZ erhält man aus verschiedenen Kohlehydraten, namentlich Stärke, Inulin, zunächst eine Buttersäuregährung. Um dieselbe einzuleiten, werden 2 Liter Wasser auf 40° erwärmt, und 100 Grm. Kartoffelstärke, 0,1 Grm. K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 0,02 Grm. MgSO<sub>4</sub>, 1 Grm. NH<sub>4</sub>Cl und 50 Grm. CaCO<sub>3</sub> zugefügt, dann mit einem Bacillus, der aus Heuaufguss erhalten ist und den FITZ als Bac. subtilis bezeichnet, besät und einer Temperatur von 40° ausgesetzt. FITZ fand nach 10tägiger Gäh-

1) Im Zuckerrübensaft kommt zuweilen eine etwas abweichende Gährung vor, die mit der Bildung grosser Massen gallertartiger Substanz (von SCHEIBLER Dextran genannt) einhergeht. Der ursächliche Spaltpilz soll ebenfalls ein Microoccus sein (Leuconostoc mesenterioïdes) und sich durch starke Zoogloeabildung auszeichnen. (VAN TIEGHEM, Ann. des sc. nat. 6. Sér. II. Vol. 7. — SCHEIBLER, Zeitschr. f. Rübenzuckerindustrie 1874.)

rung 34,7 Grm. Buttersäure, 5,1 Grm. Essigsäure, 0,33 Grm. Bernsteinsäure, 1,0 Grm. Aethylalkohol. Milchsäure wurde nicht als intermediäres Product gefunden. Bei seinen genauen Untersuchungen über *Bac. subtilis* konnte PRAZMOWSKI constatiren, dass dem *Bac. subtilis* die angegebene Fermentwirkung nicht zukommt; in FITZ' Experimenten hat es sich vermuthlich um den *Bac. butyricus* oder um einen anderen der zahlreichen Heubacillen gehandelt, dessen unterscheidende morphologische Merkmale gegenüber dem *Bac. subtilis* noch nicht fixirt sind.

Bei verschiedenen Kohlehydraten beobachtete FITZ ferner eine Gährung, bei der Aethylalkohol als vorherrschendes Product gebildet wurde. Aus 500 Grm. Stärke gewann er 10 Grm., aus der gleichen Menge Dextrin 22 Grm. Aethylalkohol; auch Milchzucker lieferte wesentlich denselben Alkohol. — Endlich soll nach HOPPE-SEYLER Cellulose durch Cloakenschlamm eine Zersetzung in  $\text{CO}_2$  und  $\text{CH}_4$  erleiden. Die ursächlichen Fermentorganismen wurden für diese Gährungen nicht genügend festgestellt.

β) Vergährung der mehrwerthigen Alkohole. Während für die zweiwerthigen Glycole noch keine Gährungen mit Sicherheit beobachtet sind, hat man für den 3werthigen Alkohol Glycerin, den 4werthigen Alkohol Erythrit, den 5werthigen Quercit und die 6werthigen Alkohole Mannit und Dulcit verschiedene Gährungen durch Spaltpilze festgestellt.

Für Glycerin beobachtete FITZ 4 verschiedene Gährungen. Unter dem Einfluss eines Heubacillus, den FITZ für *Bacillus subtilis* hält, liefert es wesentlich Aethylalkohol. Eine Handvoll Heu wird mit  $\frac{1}{4}$  Liter Wasser angerührt, durch ein Drahtnetz filtrirt und mit Glycerin (etwa 3%), Salzen und  $\text{CaCO}_3$  versetzt, 5 Minuten gekocht und dann bei  $40^\circ$  gehalten; nach 2 Tagen ist das Gemisch in voller Gährung. Man erhält reichlich Aethylalkohol (beispielsweise aus 100 Grm. Glycerin 29 Grm. Aethylalkohol), als Nebenproducte Capronsäure, Buttersäure, etwas Essigsäure.

Um die zweite Gährung, die vorzugsweise Butylalkohol liefert, anzusetzen, wird Heuwaschwasser und Glycerinlösung ohne zu kochen bei  $40^\circ$  gehalten. Man findet im Gährgemisch einen *Bacillus*, der  $2\ \mu$  breit und  $5\text{--}6\ \mu$  lang ist, und während der Gährung sich beweglich zeigt. In stärkeren Glycerinlösungen (über 10%) hört die Gährung bald auf, und der *Bacillus* bildet Dauersporen. — Sät man frische Kuhexcremente in Glycerinnährlösung, so bilden sich meist Aethyl- und Butylalkohol in ungefähr gleichem Verhältniss (daneben etwas Propylalkohol) und dementsprechend ist die Nährlösung von den 2 Bacillenformen bevölkert.



Drittens konnte FITZ durch die Bacillen des blauen Eiters Glycerin in eine Gährung versetzen, bei der reichlich Buttersäure und daneben Aethylalkohol und Bernsteinsäure erhalten wurden; und viertens wurde durch kleine dünne, oft paarweise aneinanderhängende Stäbchen, die nämlichen, die auch äpfelsauren Kalk zu vergähren im Stande sind, Aethylalkohol (21 Grm. aus 100 Grm. Glycerin), und daneben Ameisensäure und Bernsteinsäure erhalten. Auch noch durch andere Spaltpilze gelang eine Vergährung des Glycerins; so wurde nach Mikrokokkeneinsaat Alkohol, Buttersäure, Ameisensäure und Essigsäure erhalten; HOPPE-SEYLER fand nach Zusatz von faulem Fibrin zu Glycerinlösung hauptsächlich Buttersäure, Essigsäure und Bernsteinsäure als Gährproducte. — Bei allen vorgenannten Gährungen bietet die Methode nicht hinreichend Garantie für völlig reine Einsaat und die morphologischen Merkmale der Gährungserreger wurden nicht genügend berücksichtigt; darunter leidet die Verwerthbarkeit der sorgfältigen chemischen Untersuchungen.

Für Erythrit fand FITZ ebenfalls verschiedene Gährungen; ein Spaltpilz bewirkte eine Zersetzung, die sich als Spaltung von 2 Mol. Erythrit in 1 Mol. Buttersäure und 1 Mol. Bernsteinsäure, unter Austritt von  $2\text{H}_2\text{O}$  und  $1\text{H}$  auffassen liess; ein anderer Spaltpilz ergab eine Gährung mit nur geringen Spuren von Bernsteinsäure.

Mannit liefert zunächst die oben erwähnte Milchsäuregährung. Ferner bewirkt nach FITZ ein Spaltpilz in etwa 3%igen Mannitlösungen die Bildung von Normalbutylalkohol, Aethylalkohol, Bernsteinsäure, Milchsäure; und ein keulenförmiger aus gekochtem Heuwaschwasser gewonnener Bacillus lieferte Aethylalkohol (26%), Ameisensäure (5,6%) und etwas Bernsteinsäure.

Dulcit schliesst sich den Kohlehydraten an bezüglich der Milchsäuregährung. Nach FITZ liefert Dulcit auch eine Gährung mit etwas Alkohol und viel Buttersäure; Quercit eine solche mit fast ausschliesslicher Bildung von Normalbuttersäure.

γ) Vergährung der Fettsäuren. Zahlreiche zu den Fettkörpern gehörige Säuren liefern ein geeignetes Gährmaterial, sobald sie in Form neutraler Salze Spaltpilzen dargeboten werden. Am besten geeignet scheint das Kalksalz dieser Säuren zu sein, und mit diesem wurden auch fast durchgehends die betreffenden Gährversuche angestellt. Es zeigten sich gährfähig: Ameisensäure ( $\text{HCOOH}$ ), Essigsäure ( $\text{CH}_3 \cdot \text{COOH}$ ); ferner eine Reihe von Oxyssäuren, nämlich Milchsäure ( $\text{C}_2 \text{H}_4 \cdot \text{OH} \cdot \text{COOH}$ ), Glycerinsäure ( $\text{C}_2 \text{H}_4 \cdot (\text{OH})_2 \text{COOH}$ ), Äpfelsäure ( $\text{C}_2 \text{H}_3 \cdot \text{OH} \cdot (\text{COOH})_2$ ), Weinsäure ( $\text{C}_2 \text{H}_2 (\text{OH})_2 (\text{COOH})_2$ ), Citronensäure ( $\text{C}_3 \text{H}_4 \cdot \text{OH} \cdot (\text{COOH})_3$ ).

Ameisensäurer Kalk liefert nach HOPPE-SEYLER mit Cloakenschlamm versetzt  $\text{Ca CO}_3$ ,  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}$ ; essigsaurer Kalk in ähnlicher Weise  $\text{Ca CO}_3$ ,  $\text{CO}_2$  und  $\text{CH}_4$ . — Milchsaurer Kalk geht nach FITZ 3 verschiedene Gährungen ein; erstens unter dem Einfluss eines schmalen Bacillus, der oft lange Ketten bildet, die Propionsäuregährung, bei der als Nebenproducte etwas Essigsäure, Bernsteinsäure und Alkohol auftreten; vermuthlich ist der Vorgang ausgedrückt durch die Gleichung:



Zweitens liefert der milchsaurer Kalk bei anderer Einsaat neben Propionsäure reichlich Valeriansäure (normale); aus 3 Kilogramm wurden 126 Grm. Propionsäure und 101 Grm. Valeriansäure gewonnen. — Drittens ist schon früher von PASTEUR (Compt. rend. 1861) die Buttersäuregährung des milchsauren Kalks beobachtet; FITZ erhielt bei einer solchen aus 500 Grm. etwa 34 Grm. buttersauren Kalk, ausserdem 3,6 Grm. Aethyl- und Butylalkohol. Diese Gährung kann repräsentirt werden durch die Gleichung:



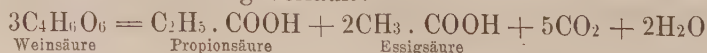
Glycerinsaurer Kalk giebt, durch längliche Mikrokokken vergohren, hauptsächlich essigsaurer Kalk, daneben etwas Bernsteinsäure und Aethylalkohol; vielleicht verläuft die reine Gährung nach der Gleichung:



Ferner kann dasselbe Material durch mittelgrosse Bacillen zu Ameisensäure mit etwas Methylalkohol und Essigsäure als Nebenproducten vergohren werden.

Äpfelsaurer Kalk ist ebenfalls mehreren Gährungen unterworfen. Unter dem Einfluss dünner Bacillen — derselben, die auch Glycerin vergähren — wird hauptsächlich Bernsteinsäure (ca. 60% des Materials) und etwas Essigsäure gebildet. Mit anderen, kürzeren Bacillen entsteht Propionsäure als Hauptproduct, daneben wieder Essigsäure. — Drittens tritt zuweilen eine Buttersäurebildung, unter H-Entwicklung ein; und endlich wird nach SCHÜTZENBERGER der äpfelsaurer Kalk auch in der Weise zerlegt, dass Milchsäure und  $\text{CO}_2$  gebildet wird.

Weinsaurer Kalk liefert entweder die schon PASTEUR bekannte und auch von FITZ erhaltene Propionsäuregährung, die vielleicht nach der Gleichung verläuft:



Oder es entsteht Buttersäuregährung; oder drittens es findet eine Zerlegung statt, bei der hauptsächlich Essigsäure gebildet wird (auf 100 Grm. weinsauen Kalk erhielt FITZ 45 Grm. essigsauren Kalk) und daneben etwas Aethylalkohol, Butter- und Bernsteinsäure.<sup>1)</sup>

Citronensaurer Kalk lieferte nach Versuchen von FITZ unter dem Einfluss kleiner, dünner Bacillen (aus Heuwaschwasser) reichlich Essigsäure; als Nebenproducte Aethylalkohol und Bernsteinsäure. — Auch die Schleimsäure wird nach SCHÜTZENBERGER leicht in Essigsäure, CO<sub>2</sub> und H gespalten.

d) Die Fäulniss. Unter Fäulniss oder fauliger Gährung begreift man die rasche und intensive Zerlegung N-haltiger, hauptsächlich eiweissartiger Substanzen durch gewisse Spaltpilze, bei welcher gasige, übelriechende Producte in grösserer Menge gebildet werden.

Das Material für diese Gährung liefern zunächst die eigentlichen Eiweissstoffe; dieselben scheinen allerdings niemals direct der Zerlegung anheimzufallen, sondern zunächst einer Umwandlung in Peptone zu unterliegen; da aber peptonisirendes Ferment den fäulniss-erregenden und vielen anderen Spaltpilzen zuzukommen pflegt, so ist practisch nur ein zeitlicher Unterschied zwischen der Fäulniss löslicher und unlöslicher Eiweissstoffe; durch Hinzufügen von peptonisirendem Pankreasferment wird aber dementsprechend die Fäulniss besonders beschleunigt. Ferner sind die leimartigen und leimgebenden Stoffe zur Fäulniss disponirt; dann die Peptone; endlich einige N-haltige Körper, die sich zwar in ihrer Zusammensetzung und in ihren Eigenschaften mehr von den Proteinstoffen entfernen, aber diesen dadurch nahe stehen, dass sie als Componenten des Eiweissmoleküls angesehen werden müssen; so namentlich das Leucin, vielleicht auch das Tyrosin, Indol u. s. w.

Die Producte, die durch faulige Gährung aus den Eiweissstoffen entstehen, sind CO<sub>2</sub>, H, Schwefelwasserstoff, Methan; niedere Fettsäuren, namentlich Buttersäure, Valeriansäure; Phenole, namentlich Parakresol; ferner eine Reihe von N-haltigen Körpern: Ammoniak, Ammoniumcarbonat, Ammoniumsulfid; Aminbasen, z. B. Propylamin, Trimethylamin; Amido-Fettsäuren, so Leucin, Glycocoll, Glutaminsäure, Asparaginsäure; endlich N-haltige Substanzen aus der aromatischen Reihe, z. B. Tyrosin, Indol. Manche dieser Producte treten nur unter bestimmten Umständen und vorübergehend auf; viele (Ammonverbindungen, Schwefelwasserstoff, Fettsäuren, Indol) haben

---

1) Andere vermuthlich nicht rein verlaufene Gährungen der Weinsäure erhielt KOENIG (Chem. Ber. 14. 211).

einen ausgeprägten Geruch und bedingen, indem bald die einen, bald die anderen mehr vorherrschen, den verschiedenen widerlichen Geruch der Fäulnissgemische.

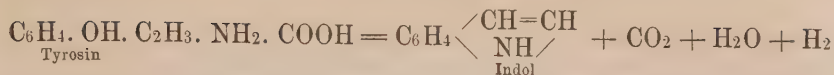
Entsprechend der grossen Zahl der entstehenden Producte haben wir die ganze faulige Zersetzung nicht etwa als Leistung einer einzelnen Form von Mikroorganismen aufzufassen, sondern an dem ganzen Process sind zahlreichste verschiedene Spaltpilze betheiligt. So wenig es aber möglich ist, zur Zeit nur einigermassen die Zersetzungs Vorgänge bei der Fäulniss in Form von chemischen Gleichungen zur Anschauung zu bringen, so sind wir noch weniger im Stande, über die Morphologie der Fäulnissreger Bestimmtes zu sagen. In einem Fäulnissgemisch pflegen unzählige verschiedene Formen von Spaltpilzen zu vegetiren; welche von diesen als mehr harmlose Ansiedler, welche als Gährungserreger aufzufassen sind, und auf welche von den letzteren wir die einzelnen Acte und Phasen des Fäulnissprocesses zu vertheilen haben, darüber ist noch so gut wie nichts Sicheres bekannt.

Unter solchen Umständen können wir uns lediglich ein ganz allgemeines Bild von den Vorgängen bei der Fäulniss machen. Gelangen Spaltpilze in ein fäulnissfähiges Medium, so erfolgt zunächst deren Vermehrung, vielfach unter Absonderung peptonisirender Fermente. Das gebildete lösliche Eiweiss erleidet dann eine Spaltung, die wir uns entsprechend den heutigen Anschauungen über die Constitution der Eiweissstoffe und analog den Zersetzungen, welche die Eiweissstoffe durch Säuren und Alkalien erleiden, vielleicht in der Weise zu denken haben, dass Amidoderivate der Fettreihe (nam. Amidosäuren), N-haltige Körper aus der aromatischen Reihe, Sulfosäuren (Taurin) und vielleicht noch peptonartige Reste entstehen. Vermuthlich werden aber die erstgebildeten Zerfallsproducte rasch weiter zerlegt, so dass sie wenig bemerkbar werden; z. B. die Amidosäuren in  $\text{NH}_3$  und Fettsäuren, von denen die letzteren noch weiter nach einer der oben gegebenen Gleichungen, meist unter Freiwerden von  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  gespalten werden. So hat man speciell für das Leucin eine Vergährung feststellen können, die nach der Gleichung:



zu verlaufen scheint. Eine ähnliche Zerlegung erleidet vielleicht das Glycocoll und andere Amidosäuren. Auch für das Tyrosin muss man eine baldige weitere Zerlegung supponiren, da dasselbe in grösserer Menge nur im Anfang der Fäulniss gefunden wird; nach NENCKI könnte z. B. dessen Vergährung nach der Gleichung:





vor sich gehen; nach BAUMANN wird bei Fäulniss des Tyrosins, wenn der Sauerstoffzutritt nicht völlig gehemmt ist, Hydroparacumar-säure, Paroxyphenylessigsäure, Parakresol, Phenol der Reihe nach gebildet, wobei vielleicht Paräthylphenol und Paroxybenzoëssäure Zwischenstufen bilden, unter Abspaltung von  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  und  $\text{NH}_3$ . — Für die weitere Spaltung des schwefelhaltigen Componenten fehlt es noch an Erfahrungen.

Wir müssen selbstverständlich annehmen, dass diese zahlreichen, zum Theil noch ganz in Dunkel gehüllten Gährungsvorgänge, aus denen sich die Fäulniss zusammensetzt, durch eine Reihe verschiedener Spaltpilze bewirkt werden. Sind die Organismen, welche als Gährungserreger eingreifen müssen, sämmtlich reichlich vorhanden, so werden sich die einzelnen Acte der Zerlegung rasch folgen; fehlt es an einigen, oder sind die einen einstweilen in zu grosser Minderzahl, so wird eine Verlangsamung eintreten, die Fäulniss bleibt auf einer früheren Phase stehen und liefert andere Endproducte. Welche Pilze namentlich im Anfang zur Herrschaft gelangen, das hängt von der Concentration, der chemischen Zusammensetzung, von der Reaction, von der Temperatur des fäulnissfähigen Substrats ab; im Laufe der Zeit und unter dem Einfluss der allmählich fortschreitenden Fäulniss ändern sich diese äusseren Bedingungen vollständig; aus neutralen Körpern können solche entstehen, die saure Reaction bedingen; durch Spaltung vorzugsweise der N-haltigen Moleküle und Bildung von  $\text{NH}_3$  kann die Alkalescenzen vermehrt werden; die Relation der einzelnen chemischen Stoffe ändert sich, weil die eine Art stärker in die Zerlegung hineingezogen wird, als die andere. Dadurch bieten sich immer wieder für andere Spaltpilze günstigste Existenzbedingungen; und so stellt sich der gesammte Fäulnissprocess als eine fast regellose, von nicht übersehbaren Einzelbedingungen abhängige Folge von Umsetzungen dar, welche durch die verschiedensten und in verschiedenster Weise wirksamen Spaltpilzschaaren hervorgerufen werden. Im Anfang der Fäulniss beobachtet man gewöhnlich mehrere Arten von Mikrokokken, ferner grosse Bacillen; in späteren Stadien finden sich auch Massen von kürzeren Bacterien ein; an der Oberfläche des Gemisches scheinen Formen zu prävaliren, wie sie unter dem Namen *Bacterium termo* beschrieben werden. Dabei ist nicht zu vergessen, dass ausserdem zahlreiche Spaltpilzformen in faulenden Gemischen sich etabliren, denen keine Gährwirkung zukommt oder die einstweilen noch nicht das passende

Material zur Entfaltung ihrer Gährthätigkeit vorfinden; später freilich, wenn energische Gährung vorhanden ist, pflegen die dabei activ betheiligten Pilze die Entwicklung anderer Formen zu hemmen. Alle diese Massen von Mikroorganismen müssen den Fäulnisprocess noch dadurch compliciren, dass auch ihre specifischen Stoffwechselproducte mit den Gährproducten sich mischen; diese müssen zwar bis zu einem gewissen Grade den durch faulige Gährung aus den Protein-substanzen gebildeten Substanzen analog sein, bieten aber in den specifisch gebildeten Fermenten, Giften (Sepsin, Ptomaine), Farbstoffen u. s. w. immerhin allerlei complicirende Abweichungen.

Von grösstem Einfluss auf den Verlauf des Fäulnisprocesses ist der Sauerstoff. Schon längst ist bekannt, dass nur bei Luftbeschränkung eigentliche Fäulnis mit übelriechenden, gasigen Producten stattfindet. Bei reichlichem Luftzutritt beobachtete man ein Fehlen dieser Gerüche, man constatirte eine rasche und sehr vollständige Oxydation aller fäulnisfähigen Stoffe, und bezeichnete daher diese Art von Fäulnis mit dem besonderen Namen „Verwesung“. PASTEUR hob den Unterschied der Fäulnis mit Sauerstoffzutritt und derjenigen ohne Sauerstoffzutritt zuerst schärfer hervor; bei Luftabschluss soll nach PASTEUR zunächst der in der Flüssigkeit enthaltene Sauerstoff durch gewisse Mikroorganismen (*Monas crepusculum* und *Bacterium termo*) verzehrt und zum Verschwinden gebracht werden. Sobald der Sauerstoff entfernt ist, gehen diese Bacterien zu Grunde und fallen als Niederschlag auf den Boden des Gefässes. Nun erst zeigen sich die eigentlichen Fäulnisvibrionen, die nur bei Sauerstoffmangel existiren, die faulige Gährung veranlassen und der vorbereitenden Thätigkeit jener Aërobien durchaus bedürfen. Ist die Flüssigkeit dagegen der Luft exponirt, so entwickeln sich die aëroben Bacterien an der Oberfläche ununterbrochen; sie bilden ein Häutchen, das zuweilen in Fetzen auf den Boden fällt, aber sich immer wieder regenerirt. Dieses Häutchen hindert nun aber zugleich den Zutritt des Sauerstoffs zur Flüssigkeit, und so ist es möglich, dass in der Flüssigkeit, gleichsam unter dem Schutze der Bacteriendecke, sich Vibrionen entwickeln, die nur bei Sauerstoffabschluss leben, die aber Gährungen veranlassen. Die so gebildeten noch ziemlich complicirten Gährproducte dienen dann den oberflächlich angesiedelten Aërobien als Nahrung und diese bilden daraus die einfachsten Verbindungen, Wasser  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , während die sonst charakteristischen Fäulnisproducte gar nicht zur Wahrnehmung gelangen.

PASTEUR suchte also den Unterschied zwischen Fäulnis bei

Sauerstoffzutritt und -abschluss entsprechend seiner auf das Fehlen des Sauerstoffs basirten Gährtheorie zu erklären (vgl. S. 20). Es scheint aber, dass noch andere Vorgänge zur richtigen Deutung dieses Unterschiedes herangezogen werden müssen.

Unter Abschluss des Sauerstoffes treten umfangreiche Reductionen auf, die grösstentheils beim Gährvorgang direct entstehen; aus Oxysäuren werden Fettsäuren;  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , S (z. B. bei BEGGIATO) treten auf; vor allem aber wird bei den verschiedensten Gährungen Wasserstoff gebildet. Wie aus den oben angeführten Gleichungen ersichtlich ist, wird bei der Gährung der Ameisensäure, der Milchsäure (Buttersäuregährung), der Glycerinsäure, der Aepfelsäure, der Weinsäure, des Erythrits, des Leucins u. s. w. Wasserstoff frei; dieser wird zuweilen seinerseits weitere reducirende Wirkung äussern müssen. Nitrate müssen durch solchen Wasserstoff in Nitrite verwandelt werden, Indigblau in Indigweiss, Invertzucker in Mannit; ob auch Sulfate durch denselben reducirt werden können, ist fraglich. Im Ganzen ist jedenfalls die Veränderung des Gährmaterials und der übrigen Gährproducte durch den Wasserstoff nur eine geringfügige; und es ist somit für den Verlauf der Fäulniss ohne Sauerstoff charakteristisch, dass die eigentlichen Gährproducte im Ganzen unverändert und unvermengt zu Tage treten, ohne dass eine weitere Zerstörung und Oxydation derselben erfolgt; und ferner ist es begreiflich, dass bei dieser Fäulniss nur solche Spaltpilze existiren können, denen der Sauerstoff völlig entbehrlich ist, so lange sie Gährmaterial zur Disposition haben.

Anders bei reichlichem Sauerstoffzutritt. Hier spielt derselbe Wasserstoff, welchem vorhin nur nebensächliche Functionen zukamen, vermuthlich eine viel bedeutsamere Rolle. HOPPE-SEYLER hat es wahrscheinlich zu machen gesucht, dass bei Sauerstoffzutritt der nascirende Wasserstoff das Sauerstoffmolekül zerreißen und so den Sauerstoff activiren muss; der Vorgang ist dabei der, dass beim allmählichen Entstehen des Wasserstoffs immer 2 Atome desselben ein Atom des Sauerstoffmoleküls an sich reißen und damit Wasser bilden, während nun das andere Atom Sauerstoff im freien Zustande zu den kräftigsten Oxydationen befähigt ist. HOPPE-SEYLER<sup>1)</sup> hat neuerdings gezeigt, dass auch auf anderem Wege entstandener Wasserstoff solche den Sauerstoff activirende Kraft besitzt; so vermag der aus Palladiumwasserstoff durch Dissociation allmählich austretende Wasserstoff bei Gegenwart von Sauerstoff energische Oxy-

1) Zeitschr. f. physiol. Chemie. II. 22. — Vgl. BAUMANN, *ibid.* V. 244.

dation auszuführen; und ähnlich ist die Wirkung des Phosphors auf den Sauerstoff zu erklären.

Unter dieser Annahme wird es dann verständlich, weshalb bei Sauerstoffzutritt die Fäulniss so völlig anders verläuft, als bei Luftabschluss. Nicht nur, dass die eigentlichen Reductionsproducte, wie H,  $H_2S$ , nicht zu Tage treten, sondern der Oxydation anheimfallen; auch eine Menge anderer Substanzen, die sonst dem geschlossenen Sauerstoffmolekül gegenüber bei gewöhnlicher Temperatur völlig resistent sind, werden nun von dem activirten Sauerstoff angegriffen und in einfachste Verbindungen übergeführt. Die Zerstörung der fäulnissfähigen Stoffe erfolgt so in gleich vollständiger Weise wie bei der Zerlegung im lebenden thierischen Organismus oder auch in Spaltpilzen, die bei Sauerstoffzufuhr in normaler Weise die gebotenen Nährstoffe oxydiren. Zuweilen werden auch wirklich an der Oberfläche der Faulflüssigkeit angesiedelte Spaltpilze — oder auch, wenn es die Umstände begünstigen, Spross- oder Schimmelpilze — sich von den Gährproducten nähren und diese zu einfachsten Verbindungen verbrennen; nur ist es nicht wohl wahrscheinlich, dass auf diese Weise bei Sauerstoffzutritt das Verschwinden der gesammten riechenden Producte und der Process der geruchlosen Verwesung zu Stande komme; denn für gewöhnlich steht die Menge der Fäulnissproducte und die der aëroben, die Producte verzehrenden Pilze in keinem Verhältniss. Der wesentlichste Antheil an der Oxydation und an der Bildung der Verwesungsproducte dürfte vielmehr in fast allen Fällen dem bei den Gährungsprocessen entstehenden Wasserstoff und dessen activirender Wirkung auf den Sauerstoff zukommen.

Nothwendig gehört zur vollkommenen Verwesung, d. h. zur Fäulniss ohne jede Entwicklung von riechenden Gasen und von Reductionsproducten, eine innige Berührung des Fäulnissmaterials mit Luft; diese ist z. B. gegeben in porösem Boden, wo bekanntlich eine äusserst vollständige und rasche Oxydation organischer Substanzen eintritt, während in der Mehrzahl der practisch vorliegenden Fälle ein Gemisch von Fäulniss und Verwesung im todtten organischen Material auftritt. In den oberen Schichten einer Flüssigkeit, an der Oberfläche einer Leiche kann Verwesung erfolgen, während in tieferen Schichten Fäulnissprocesse von solcher Ausdehnung und Intensität sich abspielen, dass Producte der echten Fäulniss neben den Verwesungsproducten auftreten. Im Boden scheinen die Bedingungen zur Verwesung am günstigsten; namentlich in leicht durchgängigem und zeitweise durchfeuchtetem Boden geht ge-

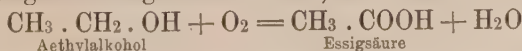


radezu eine Mineralisirung organischer Substanzen in sehr vollkommener Weise von statten, so dass bald weder  $\text{NH}_3$  noch  $\text{H}_2\text{S}$ , noch complicirtere C-Verbindungen vorhanden sind, sondern nur noch Nitrate, Sulfate und Kohlensäure.

Diese Art von Zersetzung sehen wir beispielsweise auch bei den Erdclosets, bei den Rieselfeldern u. s. w. Allerdings ist eine so rasche Mineralisirung nur dann der Fall, wenn im Boden eine gleichmässige lockere Vertheilung des Materials stattfindet; bleiben compactere Massen bestehen, so pflegen ebensowohl Fäulnissprocesse einzutreten und wenn Leichen im Boden rasch verwesen, so beruht dies grossentheils mit auf der Betheiligung höherer thierischer Organismen, denen die Cadaver als Nahrung dienen und die in ihrem Körper eine Oxydation dieser Nährstoffe veranlassen, welche mit der Verwesung weitgehende Analogieen hat. (Vgl. Abschnitt „Beerdigungswesen“.)

Auch bei der Zersetzung im Boden treten übrigens häufig einige noch nicht genügend definirbare Producte auf; so namentlich bei der Zerstörung von Pflanzentheilen, die überwiegend aus Cellulose bestehen. Hier entstehen die Huminsubstanzen; und bei Luftabschluss, in Sümpfen reichlich  $\text{CH}_4$ . Man bezeichnet diese Zersetzung pflanzlicher, N-armer Substanzen speciell als „Vermöderung“; doch ist dieser Begriff seinem chemischen Inhalt nach nicht vollständig klar. Auch die Bezeichnung „Verwesung“ wird gegenwärtig noch für mehrere verschiedenartige Processe gebraucht; so wendet sie NÄGELI für die Zerstörung organischer Substanz durch Schimmelpilze an. Hier aber besteht keine eingreifende Gährwirkung, sondern nur eine allmähliche Consumption der gebotenen Nährstoffe, und daher ist der Name wohl besser beizubehalten für die Fäulniss unter Sauerstoffzutritt, bei welcher gelegentlich — wenn Concentration und Reaction des Mediums begünstigend wirken — natürlich auch durch die Schimmelpilze ein Beitrag zur vollständigeren Decomposition des Materials geliefert werden kann. Unter besonderen Umständen, wenn es an gährthätigen Pilzen, oder an gährfähigem Material oder an sonstigen Bedingungen für Gährvorgänge fehlt, spielt die Consumption der organischen Substanz durch Schimmel-, Spross- und Spaltpilze die Hauptrolle; die Zerstörung muss dann aber entsprechend langsam verlaufen und die gewöhnlichen Stoffwechselproducte der niederen Pilze liefern. Mit Unrecht würde man einen solchen Vorgang noch den Gährungs- oder Fäulnissprocessen zu-rechnen.

ε. Die Oxydation des Alkohols zu Essigsäure. Als Essiggährung bezeichnet man den Vorgang, durch welchen Aethylalkohol in Essigsäure umgewandelt wird, und welcher in der Gleichung:



seinen Ausdruck findet. In ähnlicher Weise soll nach NÄGELI auch Methylalkohol zu Ameisensäure oxydirt werden. Die Sauerstoffaufnahme kommt in sehr geringem Grade zu Stande, wenn Alkohol auf grosser Oberfläche — Hobelspänen, Filterpapier u. s. w. — ausgebreitet

der Luft ausgesetzt wird; in höherem Grade, wenn Platinschwamm, Kohle oder ähnliche poröse Körper die Uebertragung des Sauerstoffs vermitteln; besonders energisch aber, wenn die Entwicklung eines bestimmten Pilzes in dem alkoholischen, wo möglich auf grosser Oberfläche vertheilten Substrat stattgefunden hat. Ueber die morphologischen Merkmale dieses Pilzes, sowie über den näheren physiologischen und chemischen Vorgang bestehen noch mancherlei Zweifel. Der eigentlich wirksame Pilz scheint zu den kurzen Stäbchenbakterien zu gehören; er entwickelt sich an der Oberfläche der alkoholischen Flüssigkeiten und bildet eine mehr oder weniger ausge dehnte und zähe Gallertmasse, in welche die Mehrzahl der Zellen so eingebettet ist, dass sie der weiteren Berührung mit der Luft entzogen sind. Daneben finden sich meist noch andere Pilze; oft siedelt sich im Anfang *Mycoderma* in überwiegender Zahl an, so dass früher dieser Pilz als Erreger der Essiggährung angesprochen wurde (s. S. 55). Nach NÄGELI soll aber *Mycoderma* dem Essigpilz nur insofern häufig den Boden bereiten, als er bei einem starken Gehalt des Gährmaterials an Fruchtsäuren, welcher der Entwicklung des Spaltpilzes hinderlich sein würde, diese verzehrt und das Medium dadurch entsäuert. Doch befriedigt diese Erklärung der oft beobachteten eigenthümlichen Aufeinanderfolge beider Pilzarten nicht vollkommen, da ja gerade der Essig-Spaltpilz in weit höherem Grade als andere Spaltpilze essigsäure Reaction der Nährflüssigkeit zu ertragen vermag.

Die Entwicklung des Essigpilzes findet nur statt, wenn die üblichen Nährstoffe, N-haltige Substanzen und Salze, vorhanden sind. Das Gährmaterial, der Alkohol, darf in nicht zu grosser Concentration (höchstens 10%) vorhanden sein. Besonders günstig geht die Entwicklung des Essigpilzes vor sich, wenn eine gewisse Menge Essigsäure (1—2%) bereits vorhanden ist. Unter  $+10^{\circ}$  und über  $35^{\circ}$  hört die Essigbildung auf; das Optimum liegt zwischen  $20$ — $30^{\circ}$ ; durch Erhitzen der Gährflüssigkeit auf  $60^{\circ}$  (20 Minuten lang) wird die Gährwirkung in einem Substrat dauernd aufgehoben, falls nicht neue Pilzkeime hineingelangen. Ueber die sonstigen im Gährgemisch auftretenden Producte ist nichts bekannt; nach NÄGELI soll der Essigpilz ausserordentlich geringe Mengen von  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  bilden.

Nach den wenigen sicheren Beobachtungen, die über die Essiggährung vorliegen, scheint diese sich somit wesentlich anders zu verhalten, als die übrigen Gährungen. Eine tiefere Zersetzung des Alkoholmoleküls, eine stärkere Bildung von  $\text{CO}_2$  findet nicht statt; die Essigbildung verläuft weit weniger stürmisch als die anderen Gährvorgänge; derselbe Effect wird durch Platinschwamm und Kohle erzielt. Dies alles hat PASTEUR auf den Gedanken geführt, dass die Essigbildung nicht eigentlich eine phy-

siologische Leistung des Pilzes sei, sondern dass derselbe dabei nur sauerstoffübertragend, in ähnlicher Weise wie Platinschwamm wirke. Allerdings hat MAYER dagegen geltend gemacht, dass das Optimum der Wirkung beim Essigpilz ganz anders liege, als bei der Essigbildung durch Platinschwamm; dass letztere noch durch eine Temperaturerhöhung gesteigert werde, die dem Pilze verderblich sei. Aber es ist selbstverständlich, dass auch eine sauerstoffübertragende Wirkung an eine gewisse grosse Zahl intacter Pilzzellen gebunden sein und dass diese Wirkung der lebenskräftigen Entwicklung des Pilzes einigermaßen parallel gehen müsste. Dass ferner specifische Formen bei der Essigbildung gefunden werden, kann ebenfalls die PASTEUR'sche Anschauung nicht alteriren; denn die Existenzbedingungen für die bei der Essigbildung betheiligten Pilze sind so eigenthümliche, sowohl durch den Alkohol-, wie durch den Essigsäuregehalt des Mediums, dass jedenfalls nur wenige Formen dabei in Concurrenz treten können. Ob aber thatsächlich nur eine oder mehrere Formen betheiligt sind, das ist erst durch weitere Reinculturen festzustellen.

Liegt andererseits eine physiologische Leistung bestimmter Pilze bei der Essigbildung vor, so dürfen wir auch erwarten, dass die Vermehrung der Pilze aufs engste mit ihrer Leistung verknüpft ist, dass noch andere Stoffwechselproducte gebildet werden, dass wenigstens theilweise eine weitergehende Oxydation der Essigsäure stattfindet. Und weiter fragt es sich dann, ob wir die Essigbildung wirklich als Gährung bezeichnen dürfen, oder ob dieselbe nicht einfach in der Weise aufzufassen ist, dass die Pilze unter anderen Nährstoffen auch den Alkohol aufnehmen und diesen, falls er in besonders reichlicher Menge geboten ist, nur zu Essigsäure oxydiren. Im letzteren Falle wird die PASTEUR'sche Uebertragung des Sauerstoffs in die Zelle verlegt; der Alkohol fungirt als Nährstoff, der, in geringer Menge in einem Nährgemisch geboten, von den verschiedensten Pilzen verzehrt und verbrannt wird; der aber in stärkerer Concentration nur wenigen Pilzen die Vegetation gestattet und dann nicht mehr in der ganzen die Zellen passirenden Menge bis zu den sonst üblichen Endproducten verbrannt wird. Als Gährung im gebräuchlichen Sinne wird man diese Oxydation des Alkohols erst bezeichnen können, wenn nachgewiesen ist, dass relativ sehr grosse Mengen des Materials in kurzer Zeit verarbeitet werden, dass fast das ganze Gährmaterial die unvollständige Oxydation erleidet und dass diese Stoffmetamorphose von den gewöhnlichen physiologischen Vorgängen genug abweicht, um sie als besondere Function dem assimilirenden und destruirenden Stoffwechsel gegenüberzustellen. — Der Entscheid über diese Fragen wird erst durch weitere Untersuchungen zu liefern sein. Liegt wirklich eine Gährung vor, dann ordnet sich der ganze Vorgang der Essiggährung noch weitaus am besten der unten entwickelten NÄGEL'schen Theorie der Gährung unter.

Fasst man zunächst den chemischen Vorgang bei den beschriebenen Gährungen ins Auge, so lassen sich einige allgemeine Gesichtspunkte auffinden, die bei allen echten Gährungen zur Geltung kommen <sup>1)</sup>. Durchweg wird  $\text{CO}_2$  gebildet; dazu sind neue Bin-

1) HOPPE-SEYLER, *Physiol. Chemie*, S. 121. — *Arch. f. d. ges. Physiol.* Bd. 12. 1.



dungen zwischen C und O erforderlich, und diese werden ermöglicht, indem Bindungen zwischen O und H, C und H, C und C gelöst werden. Bei der Vergärung der Ameisensäure  $\text{H}-\text{C}\begin{smallmatrix} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{O}-\text{H} \end{smallmatrix}$  wird die Bindung des O und H-Atoms in der Hydroxylgruppe und ebenso die des H und C-Atoms zerrissen; die frei gewordene Haftstelle des O-Atoms lagert sich an die gleichfalls frei gewordene Haftstelle des Kohlenstoffs; die gelösten H-Atome verbinden sich mit einander. So entsteht  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2$ . In ähnlicher Weise geht bei allen Gärungen eine Wanderung des O-Atoms vom H zum C vor sich, während andererseits durch Lösung von C—H und C—C-Bindungen Platz für die neue Haftung des O am C geschafft wird. Kurz, es wird die Gruppe Carboxyl gebildet, während andererseits reducirende Atom-complexe, H—H oder C—H-Verbindungen auftreten. Bei der ganzen Bewegung werden stärkere Affinitäten gesättigt und es wird Energie frei. Jedoch findet die Wanderung des O-Atoms, die zum Zerfall des Moleküls führt, nur dann statt, wenn das Molekül nicht zu gross ist im Verhältniss zu der Zahl der verschiebbaren O-Atome. Sind — wie in vielen Benzolderivaten, in den höheren Fettsäuren — zahlreiche C-Atome mit einander verbunden, während nur eine O—H-Gruppe vorhanden ist, die in Carboxyl übergehen kann, so findet überhaupt keine solche Wanderung im Molekül statt; sie wird dagegen wieder möglich, wenn mehrere O-Atome neue C-Bindungen eingehen können, so bei der Vergärung der Glycosen, wo innerhalb der 6 C-Atome 3 Carboxylbindungen stattfinden und zum Zerfall des relativ grossen Moleküls führen. Bei der Essigsäure tritt aus demselben Grunde eine Vergärung schon schwierig und bei der Propionsäure noch schwieriger ein; denn hier ist wie bei der Ameisensäure nur ein O-Atom zur Carboxylbildung befähigt, aber das Molekül schon erheblich grösser; dagegen wird eine Vergärung wieder leichter zu Stande kommen bei den Oxysäuren (Glycolsäure, Milchsäure u. s. w.), weil bei diesen eine zweite Hydroxylgruppe und damit ein zweites verschiebbares O-Atom auftritt. Sonach werden überhaupt nicht gärfähig sein: Kohlewasserstoffe, Amine, die überhaupt keinen O enthalten; ferner die grossen und O-armen Moleküle der höheren Fettsäuren und der Benzolderivate (letztere nur bezüglich des Benzolkerns, während natürlich in den Seitenketten eine O-Wanderung und Spaltung erfolgen kann). Gärfähig dagegen müssen unter Anderen sein: die mehrwerthigen Alkohole; die niederen einbasischen Fettsäuren bis zur Propionsäure; die Oxysäuren und mehrbasischen Säuren der Fettreihe; die Kohlehydrate und die Eiweissstoffe.



Die wesentlichsten nicht mehr weiter vergährbaren Producte, die nach dieser Auffassung bei der Gährung entstehen müssen, sind  $\text{CO}_2$ , die immer,  $\text{H}$ , der häufig gefunden wird; ferner bildet sich  $\text{CH}_4$  (aus essigsaurem Kalk, aus Cellulose); dann niedere Alkohole (Aethylalkohol bei der Vergährung von Glycose durch Hefe, von Glycerin, Mannit, Milchsucker, Dextrin, Stärke durch Spaltpilze; Methylalkohol aus glycerinsaurem Kalk; Prophylalkohol aus Glycerin; Butylalkohol aus Glycerin und Mannit); ferner Fettsäuren (Propionsäure aus milchsaurem, äpfelsaurem und weinsaurem Kalk; Buttersäure aus Glycerin, Stärke, Dulcit, milchsaurem, äpfelsaurem und weinsaurem Kalk; Valeriansäure aus milchsaurem Kalk; Bernsteinsäure aus äpfelsaurem Kalk und Erythrit); endlich Amidosäuren und aromatische Producte bei der Fäulniss der Eiweisskörper. Zuweilen treten allerdings auch Producte auf, die eigentlich einer weiteren Vergährung fähig sind, z. B. Ameisensäure (aus glycerinsaurem Kalk) Essigsäure (aus glycerinsaurem, citronensaurem und weinsaurem Kalk), Milchsäure (aus Zucker und äpfelsaurem Kalk), Glycerin (aus Zucker durch Hefe). Körper der letzten Gruppe werden dann auftreten, wenn die Bedingungen zu ihrer weiteren Vergährung und namentlich die erforderlichen Gährungserreger im Gährgemisch fehlen.

Der gesammte chemische Process der Gährung kommt zweifellos nur zu Stande unter dem directen Einfluss lebender Mikroorganismen; namentlich kann man nicht annehmen, dass ein von den Organismen trennbares Ferment, ein chemischer Körper von bestimmter Zusammensetzung, die wahren Gährungen auszuführen vermag. Die in der Einleitung näher besprochenen Versuche, in denen es gelang, exquisit gähr- und fäulnissfähige Substanzen beliebig lange zu conserviren, wenn man lediglich den Zutritt von Organismen verhinderte, aber die Substanzen in Berührung mit dem Sauerstoff der Luft liess und jeden sonstigen, die Fäulniss etwa hemmenden Eingriff vermied, liefern den völlig sicheren Beweis, dass ohne lebende Mikroorganismen niemals Gährung eintritt. Die Versuche mit gegentheiligem Resultat sind durch die zahlreichen übereinstimmenden und gar nicht anzuzweifelnden Ergebnisse der MEISSNER'schen Experimente endgültig widerlegt. Weiter hat man beobachten können, dass die Intensität der Gährung der Entwicklung der Mikroorganismen im Gährgemisch parallel geht; dass die Gährungen am besten bei einer Temperatur von  $35-40^\circ$  verlaufen, die mit dem Optimum der Temperatur für die Lebensfunctionen der Pilze übereinstimmt; dass die exquisit physiologischen Gifte, wie Chloroform, Aether, Blausäure schon in geringer Dosis die Gährung zu hindern vermögen. Endlich

besteht die Zerlegung des Gährmaterials bei der Gährung in einer so tiefgreifenden Umwandlung, dass nur durch die stärksten chemischen Agentien ein annähernd gleicher Eingriff erzielt werden kann. — Es liegt auf der Hand, wie völlig abweichend die Wirkung der bekannten isolirbaren Fermente ist; es wurde oben ausgeführt, wie dieselben nur hydrolytische Spaltungen ausführen, wie das Optimum ihrer Wirksamkeit bei etwa 60° liegt, wie sie gegen die physiologischen Gifte unempfindlich sind. Von einer ausgesprochenen Analogie zwischen der hydrolytischen Spaltung und der eigentlichen Gährung kann nicht die Rede sein; und nichts berechtigt daher, aus einer solchen supponirten Analogie den Schluss zu ziehen, dass auch die Gährungsprocesse demnächst auf chemische Fermente sich werden zurückführen lassen, die nur schwerer von den lebendigen Mikroorganismen zu trennen sind, in welchen sie ihre Entstehung finden.

Ist somit kein begründeter Zweifel mehr darüber gestattet, dass wir die Gährungen als physiologische Leistung der Mikroorganismen aufzufassen haben, so ist es andererseits sehr schwierig, die Art und Weise dieses physiologischen Actes näher zu präcisiren und sein Verhältniss zu den sonstigen Lebensfunctionen der Pilze klar zu stellen.

Bei den zur Gährung befähigten Pilzen kann der Stoffwechsel in verschiedener Weise verlaufen; entweder befinden sich dieselben in einem nährenden, aber nicht vergärbaren Medium (wie Hefe in Milchzuckerlösung); sie verhalten sich dann wie nicht gährfähige Pilze, assimiliren ihre Nahrung, wachsen und vermehren sich, zersetzen die Nahrung in ihrem Protoplasma, und bilden unter O-Aufnahme die früher geschilderten Stoffwechselproducte. Oder es fehlt in demselben Medium nur an Sauerstoff; dann kann eine Zeit lang die intramolekuläre Athmung mit ihrem geringfügigen destruirenden Stoffwechsel das Leben der Pilze unterhalten. Oder drittens, es ist ein dem betreffenden Pilze adäquates Gährmaterial vorhanden; dann tritt unter lebhafter Vermehrung umfangreiche Zersetzung des Materials ein; bei der Mehrzahl der Pilze in jedem Falle, sobald die übrigen Lebensbedingungen günstig liegen, bei einigen (*Bac. butyricus*) nur so lange, als gleichzeitig Sauerstoffmangel besteht.

Die Zerlegung des gebotenen Materials durch Gährung weicht nun in mancher Beziehung von dem gewöhnlichen Stoffwechsel ab. Es werden dabei sehr viel grössere Mengen von Stoffen verarbeitet, als sonst zur Ernährung der gleichen Pilmenge verbraucht werden können. Ferner ist die Zerlegung eine relativ unvollständige; beim Athmungsstoffwechsel werden die Nährsubstanzen zu einfachen Ver-

bindungen oxydirt; bei der Gährung aber bleiben die Stoffe des Nährmediums zum grössten Theil complicirte Moleküle und nur einzelne einfachere Gruppen werden abgespalten. Endlich ist bei den Gährungen der Sauerstoff nicht wesentlich an der Zerlegung der Stoffe und namentlich an ihrer Ueberführung in die Endproducte theiligt, wie es bei der Athmung der Fall ist, sondern die ganze Zerlegung vollzieht sich oft ohne jede Mithülfe des Sauerstoffs, der nur secundär eingreift und dann Oxydationen veranlasst.

Diesen Differenzen zwischen dem gewöhnlichen Stoffwechsel und der Gährung entspricht die Thatsache, dass manche chemische Stoffe nährend wirken, ohne als Gährmaterial fungiren zu können, und umgekehrt; so kann die Ameisensäure nicht als Nährstoff dienen, wird aber durch Gährung zerlegt, und die Benzolderivate und höheren Fettsäuren widerstehen der Gährung, sind aber theilweise gute Nahrungsmittel.

Die Spaltung der gährefähigen Substanzen bildet aber niemals den einzigen physiologischen Act der beteiligten Pilze. Nebenher muss selbstverständlich die Ernährung, das Wachsthum und die Vermehrung der Zellen vor sich gehen; und dafür reichen meist die Gährstoffe nicht aus, sondern Salze, N-Substanzen und zuweilen auch C-Substanzen müssen den Pilzen ausserdem zu Gebote stehen; bei O-Abschluss ist sogar die Anwesenheit besonders guter N-haltiger Nährstoffe unbedingtes Erforderniss für ein fortgesetztes Gedeihen. Ferner muss das Protoplasma bei seiner Thätigkeit wie immer sich abnutzen, und es müssen die Producte des destruirenden Stoffwechsels auftreten, nur dass auch hier der O-Mangel eine Conformität dieser Producte mit denen der intramolekulären Athmung bewirkt. Gerade der Fortgang dieses assimilirenden und destruirenden Stoffwechsels ist es ja, für den eigentlich durch die Gährung die nothwendigen Betriebskräfte beschafft werden, wenn auch die Summe von Material, welche direct für diesen Stoffwechsel verwandt wird, im Verhältniss zu dem Verbrauch der Gährsubstanz sehr gering zu sein scheint; nach PASTEUR beziffert sich z. B. bei einer energischen Vergährung des Zuckers durch Hefe die Menge des zur Ernährung verwendeten Zuckers auf nur 1% der vergohrenen Masse.

Zeigt es sich so, dass die Gährvorgänge bis zu einem gewissen Grade neben dem gewöhnlichen Stoffwechsel hergehen, so liegt weiter die Frage nahe, ob es denn zum Zustandekommen der Gährungen erforderlich ist, dass das Gährmaterial gerade wie die Nährstoffe nicht nur in unmittelbarste Berührung, sondern auch in eine lockere Verbindung mit dem Protoplasma tritt, und das Innere



der Zellen passiren muss, oder ob die Zerlegung etwa auch ausserhalb der Zellen vor sich gehen kann und eine weniger innige Berührung des Protoplasmas mit den Gährstoffen zu ihrer Spaltung ausreicht. Diese Frage ist noch nicht endgültig zu entscheiden; die grosse Masse des in der Zeiteinheit zerlegten Materials lässt allerdings vermuthen, dass es bei der Gährung zu einer chemischen Verbindung zwischen Protoplasma und Gährstoffen und zu deren steter Zersetzung und Neubildung nicht kommt, sondern dass dieser Modus auf die gewöhnlichen Ernährungs- und Athmungsvorgänge der Zellen beschränkt ist. NÄGELI hat sogar einige ganz bestimmte Gründe dafür vorgebracht, dass auch ausserhalb der Zelle (aber freilich in deren nächster Umgebung) gelagerte gährfähige Moleküle durch die Bewegungen im Protoplasma zur Spaltung gebracht werden können. Dies zeigt zunächst die Bildung von Essigäther, die häufig die Alkoholgährung begleitet; Essigäther bildet sich nicht, wenn präformirte Essigsäure im Gährgemisch vorhanden ist; Essigsäure und Alkohol müssen vielmehr im status nascendi mit einander zusammentreffen; würden beide von den gleichen Spaltpilzen erzeugt, so wäre ihre Entstehung und Vereinigung innerhalb der Zelle denkbar; nun aber wird der Alkohol von Hefezellen, die Essigsäure von Spaltpilzen gebildet; eine Verbindung beider ist also nur möglich, wenn beide Componenten ausserhalb der Zellen entstehen. Ferner beobachtete NÄGELI, dass Spaltpilze Lakmusfarbstoff zu reduciren und zu entfärben vermögen, obwohl sich nachweisen lässt, dass der Farbstoff das lebende Plasma der Zellen nicht zu durchdringen vermag. Weiter sprechen zahlreiche Beobachtungen dafür, dass die geistige Gährung im Fleisch unverletzter Früchte durch die auf der Fruchtschale sitzenden Hefezellen geschieht; und endlich erklärt NÄGELI die Thatsache, dass in einer an Sprosspilzen reichen Zuckerlösung beigemengte Spaltpilze allmählich zu Grunde gehen, in der Weise, dass die Bewegungen, welche vom Plasma der Hefezellen auf die Zuckermoleküle übergehen, sich schliesslich auch auf die Spaltpilze fortsetzen und so diese, auf andersartige Bewegungszustände angewiesenen Organismen schwächen. Darauf gründet sich eine unten näher zu besprechende Methode der Reincultur von Hefe und anderen Gährungsorganismen.

Auch diese von NÄGELI zusammengestellten Beobachtungen geben indess noch keinen sicheren Aufschluss über das Zustandekommen der Gährwirkung. Bezüglich der Essigätherbildung ist es immerhin doch denkbar, dass die gleichen Spaltpilze beide Componenten produciren, da man weiss, dass die Alkoholbildung durchaus nicht auf



Sprosspilze beschränkt ist und z. B. Glycerin — ein stets bei der Hefegährung vorhandener Körper — nach den Versuchen von FITZ in der That durch Spaltpilze unter Bildung von Alkohol und Essigsäure zerlegt wird. Auch die anderen von NÄGELI angeführten Gründe lassen noch Einwände zu; aber im Ganzen erscheint die NÄGELI'sche Ansicht einstweilen jedenfalls als die am besten gestützte und daher wahrscheinlichste Hypothese über den Act der Gährung. Nach derselben kommt dann die Gährungserregung dadurch zu Stande, dass durch intramolekuläre Thätigkeit im Protoplasma geeignete, intensive Bewegungszustände geschaffen werden, und dass andererseits ausserhalb der Zellen chemische Moleküle vorhanden sind, welche durch diese Bewegungen in lebhafte Mitschwingung versetzt werden, so zwar, dass Zerfall des Moleküls resultirt. Nicht zur Gährungserregung befähigt sind solche Organismen, in deren Plasma ungeeignete, unzureichende Schwingungen auftreten; durch Gährung zerlegbar sind nur solche chemische Stoffe, welche leicht in Mitschwingung versetzt werden.

Uebrigens ist damit nicht ausgeschlossen, dass nicht ein Theil dererspaltungen innerhalb der Zellen vor sich geht; bei manchen Gärungen mag dies sogar vorwiegend der Fall sein. Vielleicht würde eine derartige Verschiedenheit das eigenthümliche Verhalten des Sauerstoffs erklären, der im grossen Ganzen die Gärungen begünstigt, zuweilen aber und bei gewissen Gärungen (*Bac. butyricus*) stets hemmend auftritt. Man kann sich vielleicht vorstellen, dass die intracelluläre Gährung, die nur als eine erweiterte intramolekuläre Athmung anzusehen ist, durch den Sauerstoffzutritt unterdrückt wird, und dass diese Hemmung beispielsweise dann beobachtet wird, wenn nur geringe Gährstoffmengen intracellular zerlegt werden; dagegen scheint in die ausserhalb der Zelle vor sich gehenden Spaltungen der Sauerstoff in keinem Falle störend einzugreifen (PFEFFER, l. c. S. 368). — Ueber die früher aufgestellten Theorien der Gährung vgl. S. 21.)

### 7. Die Krankheitserregung.

Die bedeutungsvollste Eigenthümlichkeit der niederen Pilze ist die, dass sie unter Umständen als Parasiten auf lebenden höheren Organismen wachsen können. Mit einem solchen Parasitismus ist zwar nicht schlechthin der Begriff der Schädigung des Wirths verbunden, da man in der Neuzeit sogar hier und da beobachtet hat, dass z. B. chlorophyllführende Schmarotzer ihren chlorophylllosen Wirthen vortheilhaft werden können; aber diese Fälle gehören zu den seltensten Ausnahmen, und gewöhnlich geht die Ansiedlung der Parasiten und namentlich der als Parasiten fungirenden Pilze mit mehr oder weniger schwerer Schädigung des beherbergenden Organismus einher. Eine Reihe der verheerendsten Krankheiten der Pflanzen,

Thiere und Menschen sind auf parasitäre Pilze mit aller Sicherheit zurückgeführt; und unsere Studien über die Morphologie und Biologie der niederen Pilze finden in der Krankheitserregung derselben ihr hervorragendstes Motiv und ihr eigentliches Ziel. Dennoch gehört eine ausführlichere Erörterung dieses Themas nicht in diese Darstellung; dasselbe findet vielmehr seine eingehende Erledigung in einem anderen Abschnitt dieses Handbuchs (s. „Volkskrankheiten“), und es sollen daher hier nur einige allgemeine Gesichtspunkte aus dem Gebiet der Krankheitserregung der Pilze kurz berührt werden.

Die 3 grossen Klassen der niederen Pilze verhalten sich in ihrer Bedeutung als Krankheitserreger ausserordentlich verschieden, und verlangen daher eine gesonderte Betrachtung.

α) Die Schimmelpilze als Krankheitserreger. Die Schimmelpilze werden hauptsächlich höheren Pflanzen gefährlich. Sie vermögen sich im Gewebe der lebenden Pflanzen zu verbreiten, indem ihre Mycelfäden zwischen den Zellen verlaufen, häufig aber auch die Zellwände durchbohren; diese letzte Art der Verbreitung macht es wahrscheinlich, dass die schmarotzenden Pilze ein Cellulose lösendes Ferment absondern.

Die Art der Wirkung der parasitirenden Pilze ist dann eine sehr verschiedene. Zuweilen verzehrt der Pilz nach und nach das ganze umliegende Gewebe, so dass eine Pilzmasse, aus Mycelien und Sporen bestehend, geradezu an Stelle des ursprünglichen Pflanzentheils tritt (*Ustilagineae*, *Exoascus*); oder die locale Veränderung besteht in einer starken Wucherung des Parenchyms, die zu allerlei Geschwülsten und Gestaltveränderungen führt (*Chytridiaceae*, *Cystopus* u. s. w.); oder endlich die localen Veränderungen sind weniger augenfällig, dafür aber tritt eine allmähliche Degeneration der umliegenden Gewebe ein, die sich durch Verfärbung und Bräunung der ergriffenen Zellen kundgibt. In den weitaus meisten Fällen pflegt so die Infection zum Absterben der Pflanze oder zum Absterben und Degeneriren der Früchte zu führen.

Unter der grossen Zahl von Schimmelpilzen sind es relativ wenig Arten, denen überhaupt eine solche pathogene Wirkung zukommt; man wird annehmen dürfen, dass gerade diese Arten mit besonders kräftigen Hilfsmitteln zur Durchdringung der Zellmembranen ausgestattet sind. Jede der pathogenen Arten ist aber wiederum nur auf eine oder wenige Pflanzenspecies übertragbar; und unter scheinbar gleichartigen Pflanzen zeigen sogar oft nur einzelne Individuen eine besondere Disposition zur Aufnahme eines parasitären Pilzes. Kleine Differenzen in der Structur der Oberhaut und der Zellwände,

Abweichungen in der chemischen Zusammensetzung des Zellsafts, stärkere oder geringere Energie des Wachstums und des Stoffwechsels werden die Umstände sein, auf welche man die Zusammengehörigkeit gewisser parasitischer Pilze mit bestimmten Nährpflanzen, die Immunität anderer Pflanzen, kurz die individuelle Disposition zu den Infectionskrankheiten zurückführen kann. Besonders starken Widerstand scheint die Oberhaut der Pflanzen den Pilzen entgegenzusetzen; oft kann daher eine Infection nur erfolgen, so lange die befallenen Pflanzentheile sich im Jugendzustande befinden und noch zarte Oberhaut besitzen. So ergreifen die *Ustilagineae*, ferner *Peronospora* inf. nur junge Pflanzen resp. junges Saatgut; *Hypoderma macrosporon* dringt nur in junge Fichtennadeln ein. Oft muss auch eine äussere Verletzung der Oberhaut erst das Eindringen der Pilzfäden ermöglichen; *Fumago*arten entwickeln sich nur an den von Blattläusen befallenen Stellen; bei einer *Nectria*art, die den Fichtenrindenkrebs verursacht, müssen die Frassstellen einer Motte die Gelegenheit zum Eindringen der Keimschläuche geben; die Sporen von *Trametes pini* keimen nur an frischen Astbruchflächen und senden von da ihre Mycelfäden ins Holz hinein. Vielfach bieten auch nur bestimmte Theile der Pflanze Angriffspunkte und Ansiedlungsstätten für die Pilze. So befällt *Claviceps* die Blüthen, *Exoascus* die Früchte, *Byssothecium* die Wurzeln der durch diese Pilze krank gemachten Pflanzen.

Von den Pflanzen, die einer gefährdeten Art angehören, werden im Laufe eines Jahres gewöhnlich immer nur einige wenige ergriffen; selten, meist in Zwischenräumen von mehreren Jahren oder Jahrzehnten, kommt es aber zur epidemischen Ausbreitung einer Krankheit, obwohl manchmal nicht sofort einzusehen ist, warum sie nicht auch in den anderen Jahren dieselbe Wirkung geäussert hat, da doch stets Exemplare der Pflanze und gewiss auch lebenskräftige Individuen des pathogenen Pilzes vorhanden gewesen sind. Diese Erscheinung erklärt sich dadurch, dass zu der erwähnten individuellen Disposition der Pflanzen gewöhnlich auch noch eine örtliche und zeitliche Disposition hinzukommen muss. Letztere besteht für die meisten Schimmelpilz-Infectionen in einer anhaltenden stärkeren Feuchtigkeit der Luft und des Bodens, welche allein das Auskeimen der Pilzsporen gestattet. Die *Ustilagineae*, *Claviceps* und viele andere bedürfen einer solchen anhaltenden Feuchtigkeit; *Peziza Willk.*, die den Lärchenkrebs verursacht, bildet nur bei feuchter Luft Fruchträger. Oft kommt es auf die Dauer der nassen Periode an; so entwickeln sich Epidemien der *Rosellinia quercina* nur bei anhal-



tendem Regenwetter; die Fruchthräger von *Hypoderma macrosp.* quellen und platzen nur bei mehrtägigem Regen. Zuweilen muss auch noch die Temperatur dem Keimen der Sporen besonders günstig sein, und eine Infection durch dieselben kann daher erst stattfinden, wenn passende Wärme und passende Feuchtigkeit zufällig zusammentreffen. — Weiter compliciren sich die Bedingungen einer erfolgreichen Infection noch dadurch, dass die oben erwähnte individuelle disponirende Gelegenheit zum Eindringen der Pilzfäden in die Pflanze gerade mit einem gewissen Entwicklungsstadium des Pilzes und somit mit den hierfür günstigen äusseren Umständen zusammenfallen muss. Die feuchte, warme Periode hat oft nur dann einen für den Parasiten günstigen Effect, wenn jugendliche Pflanzen vorhanden sind, oder wenn gleichzeitig Insecten Verletzungen der Oberhaut geschaffen haben, oder wenn durch Stürme und dergl. frische Astbrüche verursacht sind. Fehlen diese disponirenden Momente zur Zeit der feuchten Periode, oder tritt die letztere erst ein, wenn die betreffenden Pflanzen schon älter und mit festerer Oberhaut versehen sind, so kommt keine Infection zu Stande. — Hier und da spielen noch ferner liegende äussere Momente in das Zustandekommen und namentlich in die epidemische Ausbreitung der parasitären Pflanzenkrankheiten hinein. So hängt die Entwicklung der Uredineen mit ab von dem Zustande ihres zweiten Wirthes, auf den sie bei ihrem Generationswechsel angewiesen sind, und eine zufällige oder absichtliche Ausrottung der Berberitzensträucher lässt den Getreiderost aufhören; bei manchen Arten von Pilzen müssen gelegentliche Transportmittel die Verbreitung der Sporen unterstützen, so bei *Phytophthora Fagi*, wo passirende Menschen und Thiere diesen Transport übernehmen. Bei einigen endlich, welche nur aus nächster Nähe durch weiterkriechendes Mycel inficiren können, kommt alles auf die Gruppirung der infectionsfähigen Pflanzen an; nur wenn diese in dichter Berührung sich befinden, kann eine epidemische Ausbreitung erfolgen, während diese unmöglich ist, sobald andere, nicht infectionsfähige Pflanzenarten zwischen den Individuen der bedrohten Art vertheilt sind. — Es ist ersichtlich, dass unter voller Berücksichtigung dieser zahlreichen für das Zustandekommen der Epidemien einflussreichen Momente das Kommen und Gehen, das An- und Abschwollen der parasitären Pflanzenkrankheiten sich wird erklären lassen, und dass zugleich diese Beobachtungen, die sich an den Pflanzen mit grosser Schärfe und Sicherheit machen lassen, von ausserordentlichem Vortheil sein müssen für das Verständniss der thierischen und menschlichen Seuchen, die mit jenen die weitgehendsten Analogieen bieten.



Von thierischen Organismen sind es hauptsächlich wirbellose Thiere, und unter diesen Insecten, die von parasitirenden Schimmelpilzen bewohnt werden. Die Infection erfolgt dabei stets durch Eindringen der Mycelfäden in die äussere, unverletzte Haut; bei *Empusa radicans* hat man durch Experimente nachweisen können, dass die Infection niemals vom Darm aus erfolgt. Oft findet der Eintritt an beliebiger Körperstelle statt, so bei *Laboulbenia*, die an Rücken, Kopf, Beinen und Flügeln der Fliege eindringen kann; zuweilen aber ist die Eintrittsstelle beschränkt; *Empusa muscae* z. B. vermag nur am Unterleib der Fliege einzudringen und bei *Isaria* findet die Infection der Raupen durch die Stigmen der Tracheen statt. — Die parasitirenden Pilze belästigen in einzelnen Fällen ihre Wirthe sehr wenig, so pflegt *Laboulbenia muscae* keine schädigende Wirkung auszuüben; meistens aber gehen die befallenen Insecten zu Grunde. Die eingedrungenen Pilzfäden wuchern dann durch Muskel- und Fettgewebe, schnüren im Blut gewöhnlich Conidien ab, und diese wachsen zum umfangreichen Mycel aus; es findet dabei eine fast völlige Consumption der Stoffe des befallenen thierischen Körpers statt. Eine solche energische Wucherung ist nur dann denkbar, wenn die Ernährungsbedingungen, welche der Thierkörper bietet, dem Pilz ganz besonders günstig sind, wenn die thierischen Zellen nur mit sehr geringer Energie assimiliren, und Reactionsvorkehrungen mehr oder weniger fehlen. Derartige Verhältnisse scheinen bei den der Infection ausgesetzten Insecten vorzuliegen. Auch hier lassen sich aber noch besondere disponirende Momente unterscheiden; so hat man beobachtet, dass *Botrytis Bassiana* nicht alle Seidenraupen gleichmässig befällt, sondern vorzugsweise jugendliche Individuen und ferner solche, die durch schlechte Nahrung u. dergl. geschwächt sind. Lediglich durch zweckmässige Zuchtwahl lässt sich daher diese Krankheit schon bekämpfen.

Bei Fischen hat man eine Infection durch *Saprolegnia* beobachtet; der Pilz bewirkt aber erst sehr allmählich eine Störung der Hautthätigkeit und eine Affection der Kiemen. Bei Vögeln kommen ziemlich häufig Schimmelpilze in den Respirationsorganen vor; BOLLINGER (Lit. 153) ist neuerdings zu der Ansicht gelangt, dass diese Pilze meist nicht secundäre Ansiedler in den vorher erkrankten Organen sind, sondern primäre Krankheitserreger; sie entwickeln sich theils in der Trachea und in den Bronchien, theils auch im Lungengewebe und in den Luftsäcken, und sind die Ursache schwerer Respirationsbehinderung und des Todes der Thiere. Die bis jetzt gefundenen Formen waren *Aspergillus* und eine *Mucor*art; vermuth-

lich dieselben, die auch bei Säugethieren und beim Menschen wachsen. Bei letzteren trifft man Ansiedelungen von pathogenen Schimmelpilzen fast nur auf der äusseren Oberfläche des Körpers, wo dieselben Hautkrankheiten erregen (*Favus*, *Herpes tonsurans* u. s. w.). Ferner etabliren sich gewisse *Aspergillus*- und *Mucor*arten häufiger an Ansammlungen von abgestorbenen Gewebsresten, so im Zungenbelag, bei Magenerweiterung, in Cavernen; auch im äusseren Gehörgang und auf der cornea können sie gelegentlich sich entwickeln und dann Entzündung erregen. Werden Sporen der letztgenannten Arten Thieren (Kaninchen) in die Blutbahn injicirt, so entwickeln sich in den verschiedensten Organen, namentlich in den Nieren, kleine Herde, die aus dem Mycel des Pilzes bestehen. Sind sehr reichlich Sporen injicirt und massenhaft Mycelherde entwickelt, so gehen die Thiere zu Grunde. (Vgl. S. 61.) — Dass nur diese wenigen Schimmelpilzarten im Körper der höheren Thiere fortkommen, scheint wesentlich daran zu liegen, dass sie allein bei der hohen Temperatur der Warmblüter noch eine hinreichende Wachthumsenergie entwickeln, um mit den Zellen des Thierkörpers concurriren zu können. Die Beschränkung ihres Wachsthum auf die Oberflächen des Thierkörpers wird durch ihr starkes Sauerstoffbedürfniss erklärlich; im Innern der Organe bringen sie es nur zu einer geringfügigen Mycelbildung, die bald zerfällt und ohne Störung veranlasst zu haben wieder verschwindet, und die höchstens bei gleichzeitiger massenhafter Eruption Gefahr bringt. Zu einer Fructification und Vermehrung kommt es aber nur auf den der Berührung mit Sauerstoff exponirten Körperflächen.

Die Schimmelpilze spielen somit unter den Krankheitserregern der höheren Thiere eine nur unbedeutende Rolle; ihren Ernährungsbedingungen wird durch die hoch temperirten, eiweissreichen, schwach alkalischen Körpersäfte im Ganzen schlecht genügt, und ihr energisches, namentlich bei der Fructification gesteigertes Sauerstoffbedürfniss findet im Körperinnern keine Befriedigung. Dagegen gewährt die chemische Zusammensetzung wie die Temperatur der Pflanzensäfte den Schimmelpilzen bessere Existenzbedingungen, und hier wie bei den Insecten finden sie Gelegenheit, die kleine Masse der ergriffenen Körper rasch zu durchsetzen und so ihre Mycelfäden mit dem Sauerstoff der Luft wieder in Berührung zu bringen.

β) Die Sprosspilze als Krankheitserreger. Die Sprosspilze wurden auf Pflanzen niemals, auf Thieren höchst selten als Krankheitserreger beobachtet. Den einzigen Fall der letzten Art bietet der Soor, welcher durch *Mycoderma vini* bedingt sein soll.

(Vgl. S. 86.) Die Untersuchungen haben aber bis jetzt nicht mit zweifelloser Sicherheit ergeben, dass unter den zahlreichen Pilzformen, die sich im Zungenbelag bei Soor zu finden pflegen, die genannten Hefepilze als die eigentlich pathogenen zu betrachten sind. — Im übrigen kommen grössere Mengen von Hefezellen namentlich im Darmcanal vor, wo sie bei reichlicher zuckerhaltiger Nahrung noch eine Zeit lang Gährung unterhalten können.

γ) Die Spaltpilze als Krankheitserreger. Die Spaltpilze treten dadurch in einen gewissen Gegensatz zu den Schimmelpilzen, dass sie Pflanzen gar nicht, dagegen vorzugsweise warmblütige Thiere als Krankheitserreger befallen. Die niedere Temperatur und die chemische Zusammensetzung der Pflanzensäfte sind für die Entwicklung von Spaltpilzen sehr ungünstig; namentlich reagirt der Zellsaft fast stets deutlich sauer und schützt dadurch die Pflanze gegen die in dieser Beziehung so empfindlichen Spaltpilze. Ausserdem ist die Cellulose, welche jede einzelne Zelle umhüllt, für die meisten Spaltpilze nicht auflösbar und nicht durchdringbar; einige Arten vermögen zwar die abgestorbene Cellulose in Zucker zu verwandeln, aber auch diese Pilze scheinen unter den sonst ungünstigen Bedingungen nicht mit der lebenden Pflanzenzelle erfolgreich in Concurrenz treten zu können. In den warmblütigen Thieren finden dagegen die Spaltpilze eiweissreiche, schwach alkalische, etwa 37° warme Substrate, und somit die günstigsten Bedingungen zu ihrer Entwicklung und Vermehrung; und dem lebenden Thier drohen sie daher mit Gefahren, die um so viel schlimmer sind als die durch Schimmelpilze bedingten, um wie viel die Wachstumsenergie dieser hinter derjenigen der Spaltpilze zurücksteht.

Unter den verschiedenen Spaltpilzformen giebt es dann aber ausserordentlich grosse Unterschiede in ihrer krankheitserregenden Wirkung. — Manche Spaltpilze können in grossen Mengen Thieren injicirt werden, oder in Secreten auf der Oberfläche des Körpers sich vermehren, ohne dass irgend eine Schädigung entsteht; solche Versuche sind beispielsweise mit *Micrococcus luteus* und mit vielen andern zufällig aufgefangenen und gezüchteten Pilzen ausgeführt. Alle diese bringen es überhaupt zu keiner Ansiedlung im Körper. Finden sie sich zufällig in todttem Material, das der Körperoberfläche anliegt, so dringen sie von da keinesfalls in das lebende Gewebe und schädigen dieses nicht im geringsten.

Andere Spaltpilzformen verbreiten sich zwar auch nicht im lebenden Gewebe des Körpers; aber sie können sich auf abgestorbenen Gewebstheilen, namentlich auf grösseren Wundflächen, ferner



auch bei pathologischen Zuständen im Inhalt des Darmtractus lebhaft entwickeln, und dann den Körper eventuell schädigen durch Bildung von giftig wirkenden Stoffwechselproducten. Diese giftigen; z. B. von einigen Fäulnisspilzen abgesonderten, löslichen Stoffe gelangen leicht in die Blutbahn und rufen unter Umständen Intoxicationerscheinungen hervor; allerdings nur dann, wenn eine grosse Wundfläche und eine massenhafte Entwicklung von Pilzen vorliegt. Nur dann ist die Menge der in der Zeiteinheit in den Körper gelangenden giftigen Substanz gross genug, um Intoxication zu bewirken, während kleine Quantitäten in Folge ihrer fortdauernden allmählichen Elimination aus dem Organismus wirkungslos bleiben müssen.

Die bisher erwähnten Pilze können demnach nur unter besonderen Umständen und in secundärer Weise Schädlichkeiten hervorrufen; ihnen gegenüber steht die grosse Gruppe derjenigen Pilze, welche das lebende thierische Gewebe anzugreifen und sich in demselben zu vermehren vermögen. Diese eigentlich pathogenen Pilze erregen Krankheiten, die man unter dem Namen „Infectionskrankheiten“ zusammenfasst; gewöhnlich scheidet man letztere aber in 2 Gruppen, von denen die erste diejenigen Krankheiten umfasst, bei welchen die Infection von einer Wunde, einer Verletzung der äusseren Körperoberfläche ausgeht (sog. Wundinfectionskrankheiten), während bei der anderen Gruppe die Infection ohne merkliche äussere Verletzung vor sich geht. Hier und da greifen diese Gruppen in einander über, so dass die Eintheilung nicht als eine natürliche und scharfe anzusehen ist; namentlich scheinen die der zweiten Kategorie gewöhnlich zugerechneten Krankheitserreger oft durch kleinste Verletzungen der Schleimhäute oder auch der äusseren Haut ihren Eingang zu finden.

Einige Wundinfectionskrankheiten mögen hier zunächst als Beispiel der Verbreitungs- und Wirkungsart der pathogenen Pilze kurz skizzirt werden. Dieselben geben ein sehr verschiedenes Bild, je nachdem eine Verbreitung der pathogenen Pilze mehr local im Gewebe oder in den benachbarten Lymphgefässen stattfindet, oder aber auf die Blutgefässe und von da auf die verschiedensten Körperregionen übergreift. — Einige Pilze scheinen ihre Verbreitung in dem der Wunde zunächst liegenden Gewebe in der Weise zu bewirken, dass sie Stoffe absondern, welche das Gewebe nekrotisiren oder dadurch, dass sie mittelst anderer den lebenden Zellen schädlicher Einflüsse, z. B. durch Sauerstoffentziehung, die Zellen schwächen. Nur durch solche Hilfsmittel vermögen diese Pilze eine Concurrenz



mit den lebenden Zellen einzugehen; und eine erfolgreiche Infection findet daher meist erst dann statt, wenn eine grössere Zahl von Pilzen eingeführt wird oder in vorher geschädigtem Gewebe rasch zur Entwicklung kommen kann. — Ein Beispiel von allmählich fortschreitender Necrotisirung des Gewebes und Nachrückens der Pilzvegetation bietet z. B. die von Koch an Mäusen beobachtete progressive Gewebnecrose. In derartigen Fällen muss dann entweder ein stetes Fortschreiten der Invasion zum Tode führen, oder es tritt eine so lebhafte Reaction, eine so massenhafte Neubildung von Zellen im Gewebe ein, dass die Entwicklung der Spaltpilze und die Production necrotisirender Ausscheidungen nicht damit Schritt halten kann; dann bezeichnet die Entzündung die Grenze und das Ende der Bacterienherrschaft. Je kleiner das Invasionsgebiet, je weniger energisch das Wachsthum der betreffenden Spaltpilzform, je grösser die Energie des Gewebes und der Reaction und je geringfügiger die Bedeutung des befallenen Organs — um so besser wird der muthmassliche Ausgang sein.

Eine andere Art der Vermehrung innerhalb des Gewebes scheint z. B. den Bacillen des malignen Oedems zuzukommen. Diese Pilze gehören, wie die Culturversuche ergeben, zu den Anaëroben und sind gegen Sauerstoffzutritt ziemlich empfindlich; sie können sich daher nicht im intacten Blut vermehren oder durch dieses sich verbreiten; sie entwickeln sich auch nicht auf minimale Impfungen hin und von kleinsten Wunden aus; sondern nur in etwas grösserer Zahl und wenn sie zunächst eine gewisse Menge mortificirten Gewebes vorfinden; auch nicht in offenen Wunden, sondern bei Sauerstoffabschluss fangen sie an sich zu vermehren. Unter günstigen Verhältnissen erzeugen sie dann bald eine Gährung, bei der Reductionsproducte und Wasserstoff reichlich gebildet werden, absorbiren dabei die letzten Sauerstoffreste der Umgebung, machen die Zellen, indem sie dieselben in solcher Weise zwingen unter ungewöhnlichen Verhältnissen zu existiren, weniger widerstandsfähig, und schaffen sich dadurch weiteres geeignetes Terrain zur massenhaften Verbreitung. Diese Bacillen setzen vermuthlich einen Körper von wenig lebhaftem Gasaustausch in den Geweben voraus; beim Menschen scheinen sie nur unter besonderen abnormen Verhältnissen zur Entwicklung zu kommen. Selten und wohl stets erst dann, wenn der ganze Körper sauerstoffarm geworden ist, verbreiten sie sich in den verschiedensten inneren Organen (bei Mäusen) und ihr lebhaftestes Wachsthum beginnt erst, wenn nach dem Tode die weitere Sauerstoffzufuhr aufgehört hat.

Auf anderem Wege, nämlich durch die Lymphgefässe, verbreiten sich z. B. die Mikrokokken des Erysipels. Auch diese trifft man niemals in den Blutgefässen, und demgemäss rufen sie eine local begrenzte Affection hervor, die sich allmählich in der Haut weiter fortschiebt. Lymphdrüsen scheinen der Weiterentwicklung der Mikrokokken häufig Hindernisse in den Weg zu legen; da der krankhafte Prozess oft rasch und plötzlich aufhört, da niemals Necrose des Gewebes eintritt, sondern nur Entzündung und starke Zellvermehrung erfolgt, da endlich die Mikrokokken immer nur in der letztergriffenen Partie, in der Randzone des Erysipels angetroffen werden, darf man wohl annehmen, dass diese Spaltpilzform im Ganzen schwierig aus der Concurrenz mit dem lebenden Gewebe als Sieger hervorgeht, und dass an der Erregung allgemeiner Krankheitserscheinungen secundäre Processe und vielleicht auch abgesonderte toxische Stoffe participiren.

Einige Pilze endlich — diejenigen, welche Septicämie und Pyämie bedingen — wachsen ausserordentlich leicht in den Körpersäften und namentlich im Blut. In den freien Strombahnen des letzteren vermehren sie sich am leichtesten und massenhaftesten; namentlich in den kleineren Gefässen und in den Capillaren findet man diese Pilze in solchen Mengen, dass sie hier und da die Gefässe vollständig ausfüllen oder dass die Blutkörperchen nur in eine grosse Masse von Bakterien eingebettet erscheinen. An den Wandungen der Gefässe bilden sie einen dichten Belag und dies in solcher Verbreitung, dass man bei Schnitten aus beliebigen inneren Organen in jedem Präparat fast sämtliche Capillaren ausgekleidet findet. Manche Pilze greifen auch auf die farblosen Blutzellen über; in Präparaten von solchem Blut findet man grosse Plasmazellen ganz erfüllt von den Bakterien, andere trifft man im Stadium des Zerfalls, der offenbar durch diese Einwanderung bedingt ist (so bei der sog. Mäusesepticämie, S. 129). Durch diese ausgedehnte Verbreitung der Bakterien müssen nun in dem Stoffwechsel aller beteiligten Gewebe weitgehende Aenderungen eintreten; die Energie des von den Capillaren in die Gewebe hinein gerichteten ernährenden Stromes, die Fortführung der in den Gewebszellen gebildeten Stoffwechselproducte, der Gasaustausch im Gewebe müssen eine starke Alteration erfahren; mit der geänderten Ernährung der Zellen verschiebt sich dann deren Arbeitsleistung, zunächst meist in dem Sinne, dass massenhaftere Spaltung des vorhandenen Materials stattfindet, der aber wiederum kein entsprechender Ersatz zur Seite steht; ebenso geht die Neubildung von Zellen an Stelle der erschöpften und zu

Grunde gegangenen nicht in normaler Weise vor sich. So resultirt eine völlige Störung des Stoffwechsels und ein Versagen der sonst so exact functionirenden und für eine gewisse Breite der Alteration ausreichenden Regulirvorrichtungen des Körpers, und es treten die schweren allgemeinen Krankheitserscheinungen und die Temperaturerhöhung ein, die bald dem Leben ein Ende zu bereiten pflegen. — Einzelne hierher gehörige Mikroorganismen pflegen besonders leicht Verstopfung kleinerer Gefässe zu veranlassen, sei es durch ihre eigene massige Ansammlung, sei es durch Anhäufung von Zerfallsproducten, die aus Plasmazellen entstanden sind; in solchen Fällen kommt es stellenweise leicht zu einer Necrotisirung des umliegenden Gewebes und dann zu einer Entwicklung von Bakterien weit ins Gewebe hinein, das unter der directen Berührung mit den Pilzen noch weiterem Zerfall unterliegt. Zuweilen findet auch die lebhafteste Vermehrung der Bakterien im Capillarsystem eines oder einiger besonders disponirter Organe statt. So kommt es, dass hier und da locale Krankheitssymptome die allgemeinen Erscheinungen begleiten oder auch in den Vordergrund treten. Zuweilen endlich erfolgt vielleicht auch bei diesen Pilzen eine Absonderung toxischer Stoffe, die zur Complication des Krankheitsbildes beiträgt.

Vorzügliche Beispiele für die Verbreitungs- und Wirkungsweise der Mikroorganismen bei Septicämie und Pyämie liefern die von KOCH an Thieren beobachteten Infectionskrankheiten. Bei der Bakteriensepticämie der Kaninchen und bei der Bacillensepticämie der Mäuse (S. 114 u. 129) lässt sich die weite und massenhafte Verbreitung der Mikroorganismen im ganzen Capillargebiet stets mit Sicherheit nachweisen; bei der durch ovale Mikrokokken bedingten Kaninchensepsis zeigt sich besonders schön die Obturation der Capillaren durch Mikrokokkenmassen (S. 105); bei der an Kaninchen beobachteten Mikrokokkenpyämie findet man in kleinen Gefässen und Capillaren Pfröpfe von Mikrokokken mit eingeschlossenen Blutkörperchen, und an diesen Stellen ein Uebergreifen der Mikrokokken auf das Gewebe.

Im Ganzen ähnlich wie die hier skizzirten accidentellen Wundkrankheiten scheinen auch die übrigen Infectionskrankheiten zu verlaufen. Bei manchen derselben liefern Wunden der Schleimhäute die Eingangspforten, ohne welche eine Invasion der Krankheitserreger nicht stattfindet; in solchem Fall ist kaum ein wesentlicher Unterschied zwischen beiden Gruppen von Krankheiten aufzustellen. Oft aber finden sich keine merklichen Schleimhautverletzungen und doch vermögen gewisse Spaltpize solchen anscheinend ganz normalen Körper zu inficiren; diejenigen Infectionskrank-



heiten, welche in starken, rasch verbreiteten Epidemien unter einer vorher gesunden Bevölkerung auftreten, müssen auf einer solchen Invasion des unverletzten, nur mit den stets vorhandenen Eingangspforten versehenen Körpers beruhen. — Besonders leicht wird vermuthlich die unverletzte Schleimhaut der Respirationsorgane wegen ihrer geringfügigen Epithelauskleidung den Eintritt von Mikroorganismen gestatten; manche Spaltpilze scheinen aber auch dort in der Regel besonderer vorbereitender Veränderungen der Schleimhaut zu bedürfen, ehe sie sich ansiedeln können (so die Tuberkulosebacillen). Die Schleimhaut der Mundhöhle und des Rachens ist oft Insulten und kleinen Verletzungen ausgesetzt und giebt dann wohl Gelegenheit zum Eindringen von Pilzen, während im völlig normalen Zustande die dichte Auflagerung von geschichtetem Plattenepithel genügenden Schutz gewährt. Anders gestalten sich die Verhältnisse im weiteren Verlauf des Digestionstractus; hier liegt eine resorbirende, mit passirbarem Cylinderepithel ausgekleidete Fläche vor, und eine Infection müsste hier ausserordentlich leicht erfolgen können, wenn nicht die Verdauungssäfte und Verdauungsvorgänge schützend eingriffen. Viele der bis jetzt bekannten pathogenen Bacterien scheinen gegen saure Reaction des Nährmediums sehr empfindlich zu sein; so lange daher die Säure des Magensafts oder der Nahrung überwiegt, findet ein Wachsthum jener Mikroorganismen nicht statt; möglich sogar, dass die verdauende Wirkung des Magensaftes eine noch tiefere, nachhaltige Schädigung derselben veranlasst. Nachweislich erstreckt sich aber der schützende Einfluss der Verdauungssäfte nicht auf Bacillensporen; wenigstens konnte KOCH stets durch Fütterung mit Milzbrandsporen eine Infection hervorrufen, während sporenfreies Material auf diesem Wege unwirksam war. Ferner wird auch in manchen pathologischen Zuständen des Magens und Darms die normale Schutzwirkung versagen; und einige gährungserregende Spaltpilzformen, sowie die *Sarcina ventr.* scheinen schon bei geringfügigen Störungen der Verdauung massenhaft zur Entwicklung zu gelangen. Auch die Schleimhaut der Harn- und Geschlechtswerkzeuge kann gelegentlich, aber wohl nur in Folge kleiner Verletzungen, zur Aufnahme pathogener Pilze disponirt werden. — Aehnlich wie bei den accidentellen Wundkrankheiten treten dann auch bei den übrigen Infectionskrankheiten oft locale Symptome in den Vordergrund, dadurch hervorgerufen, dass in einem einzelnen Organ die günstigsten oder die einzig günstigen Verhältnisse zur Ansiedlung der Pilze vorliegen. Für die resultirenden Krankheitserscheinungen und die Prognose ist die functionelle Wichtigkeit des be-



fallenen Organs von wesentlichstem Einfluss. So zeigt sich bei Lepra eine nur sehr langsame Schädigung des Allgemeinbefindens, da die Entwicklung der Spaltpilze wesentlich in der Haut und hier in langsamster Weise stattfindet. In anderen durch perniciosere Krankheitserreger bedingten Fällen kommt es weniger zur Ausbildung charakteristischer örtlicher Symptome, sondern zu rasch auftretenden allgemeinen Krankheitserscheinungen, die sich darin der Septicämie anschliessen. Zuweilen scheint die gefundene Zahl und Verbreitung der offenbar ursächlichen Mikroorganismen in keinem Verhältniss zur Grösse der Wirkung, zur Intensität der Krankheitserscheinungen zu stehen, z. B. in den Fällen von Anthrax beim Menschen, wo nur ein einzelnes Geschwür besteht, von dem aus aber keine Verbreitung in den übrigen Körper stattgefunden hat; hier ist zur Erklärung der schweren Allgemeinerscheinungen vielleicht auch auf toxische, von den Pilzen abgesonderte Producte zurückzugreifen.

---

Bei einer Betrachtung der krankheitserregenden Wirkung der Mikroorganismen drängen sich vor allem einige Fragen auf, welche die näheren Bedingungen für das Zustandekommen einer Infection betreffen.

Offenbar gehören zu einer solchen zunächst pathogene Bacterien. Aber es fragt sich, worin denn diejenigen besonderen Lebereigenschaften pathogener Bacterien bestehen, durch welche ihnen eine regere Vermehrung im lebenden Körper ermöglicht wird; und weshalb die zahlreichen Spaltpilzformen, welche auf den Oberflächen unseres Körpers sich stets befinden, welche wir täglich mit der Luft, mit der Nahrung und durch Berührungen in unseren Körper bekommen, und welche nachweislich auf dem todten Körper bei Körpertemperatur sich massenhaft vermehren, nicht zu einem Wachsthum im lebenden Organismus befähigt sind. — Man hat wohl versucht, zur Erklärung dieses Verhaltens irgend einen einzelnen im lebenden Organismus wirksamen Factor heranzuziehen. So hat man z. B. darauf hingewiesen, dass vielleicht einige Spaltpilze nur in ruhenden Medien, nicht aber in den lebhaft bewegten Körpersäften gedeihen, und hat hierfür aus den HORVATH'schen Schüttelversuchen gewisse Anhaltspunkte gewinnen wollen. Aber die genannten Versuche, und ebenso die in der Folge unternommenen Controlexperimente haben, wie bereits oben (S. 182) gezeigt wurde, für die ruhig fliessende Bewegung der Körpersäfte keine in diesem Sinne verwerthbaren Resultate ergeben. — Ferner hat SZPILMANN nachgewiesen, dass sich Milzbrandbacillen bei der Einwirkung von Ozon durchaus

lebensfähig erhalten, während Fäulnisbacillen rasch getödtet werden; man könnte denken, dass der gleiche Einfluss sich im lebenden Organismus geltend macht. Aber abgesehen davon, dass Ozon im Körper nicht vorkommt und höchstens momentan und vorübergehend activer Sauerstoff gebildet wird, reicht diese Erklärung keinesfalls aus, weil es unter den nicht pathogenen Pilzen viele giebt, welche gegen Sauerstoff gar nicht empfindlich sind, und weil andererseits sogar exquisite Anaërobien, wie die Bacillen des malignen Oedems im Körper zu wachsen vermögen.

Ferner liegt es nahe, die charakteristischen Eigenthümlichkeiten der krankheitserregenden Bacterien einfach darin zu suchen, dass diese Pilze unter den besonderen Verhältnissen des lebenden thierischen Körpers, d. h. bei dem vorhandenen Eiweiss- und Salzgehalt, bei dem dort gegebenen Verhalten des Sauerstoffs, bei der herrschenden Temperatur von 37° u. s. w. besonders energisch zu wachsen und sich auf Kosten des Körpermateri als zu vermehren im Stande sind. Den Grad der nothwendigen Wachstumsenergie hat man dabei oft noch etwas genauer zu bezeichnen versucht, indem man darauf hinwies, dass nicht etwa alle die Pilze als pathogene angesehen werden dürfen, welche auf abgestorbenem thierischem Nährmaterial bei Körpertemperatur sich züchten lassen; sondern dass es sich im lebenden Körper um wesentlich andere Verhältnisse handelt. Hier vermögen die eingedrungenen Pilze nicht etwa unbeanstandet wie auf dem todt en Culturboden zu wachsen, sondern sie finden ein von lebenden Zellen occupirtes Terrain vor, welche ihnen das Nährmaterial energisch streitig machen. In dieser Concurrenz um das Nährmaterial hat man gern den eigentlichen Schwerpunkt für das Wachstumsvermögen der Spaltpilze im lebenden Körper gesucht, und hat die Eigenthümlichkeit der pathogenen Bacterien so präcisirt, dass sie aus der Concurrenz mit den Zellen als Sieger hervorgehen, weil sie energischer als diese das Nährmaterial assimiliren.

Aber auch diese Auffassung erscheint nicht in vollem Umfang zulässig. Von vornherein absorbiren ja die Zellen des Körpers niemals vollständig das vorhandene Nährmaterial; auch für weniger energisch wachsende Pilze müsste daher die reichliche Menge vorzüglichster Nährsubstanzen ein gewisses Wachsen und Vermehren möglich machen.

Eine Concurrenz, eine Art Kampf zwischen Körperzellen und Pilzen wird in der That bestehen; aber das wesentliche desselben liegt nicht in dem einseitigen Verbrauch und in der Unzulänglich-

keit des Nährmaterials für beide Consumenten, sondern Zellen wie Pilzen kommen gewisse besondere Eigenschaften zu, welche den Gegnern schädlich werden können und durch welche der Sieg der einen oder der anderen entschieden wird. — Für die Zellen des Körpers ist es zunächst ein bedeutsamer Vorthail, dass eine fortwährende Bewegung der Körpersäfte und damit eine Ausscheidung vieler fremder Elemente stattfindet. Auch die in den Kreislauf gelangten Spaltpilze werden vielleicht durch die Nieren, gelegentlich auch durch andere Organe, aus dem Körper schnell entfernt; beispielsweise werden bei Milzbrandkranken grosse Mengen von Bacillen im Harn gefunden. Sowohl eine örtliche Ansiedlung von Spaltpilzen, wie auch die Vermehrung derselben im Blut wird hierdurch sehr erschwert; und häufig wird eben die Elimination rascher erfolgen, als die Vermehrung der Pilze. — Sodann verfügt der lebende Organismus über eine weitere Waffe: ausgelöst durch den Reiz der sich ansiedelnden fremden Elemente etablirt sich eine Entzündung, eine Anhäufung von Lymphzellen und eine bedeutend vermehrte Saftströmung zu der gefährdeten Gewebspartie; und die Folge dieser Reaction pflegt eine gesteigerte Energie des Stoffwechsels im Gewebe und eine noch mehr erleichterte Entfernung und Abscheidung der eingedrungenen Spaltpilze zu sein. — Endlich wäre es möglich, dass seitens der Zellen des Körpers eine Production chemischer Stoffe stattfindet und sich gelegentlich steigert, die gewissen Spaltpilzen schädlich sind und ihre Entwicklung hemmen. Beispielsweise liesse sich an eine Bildung von Säuren denken; doch fehlt es vorläufig für diese Annahme völlig an bezüglichen Beobachtungsergebnissen; und namentlich würde das verschiedene Verhalten verschiedener Pilze dadurch kaum zu erklären sein.

Offenbar können nun lediglich diejenigen Spaltpilzpathogen sein und sich im lebenden Körper ansiedeln, welche sich dort rascher vermehren, als ihre Ausscheidung erfolgt, und welche selbst durch entzündliche oder andere reactive Vorgänge nicht rasch und leicht beseitigt werden. Dazu bedürfen sie entweder einer ganz ausserordentlichen Wachstumsenergie; oder aber sie müssen ihrerseits Einflüsse äussern können, welche eine tiefergehende Schädigung des Gewebes bewirken. Eine solche Waffe steht pathogenen Pilzen vielleicht in der Absonderung toxisch und necrotisirend wirkender Producte zu Gebote.

Die Heilung einer durch Bacterienansiedlung erzeugten Krankheit muss ebenfalls vorzugsweise durch ausgedehntere reactive Entzündung und durch allmählich gesteigerte Ausscheidung erfolgen können. Denkbare, aber vorläufig noch unwahrscheinlich ist es, dass das



Ende einer Spaltpilzinvasion auch dadurch bedingt werden kann, dass die eigenen Stoffwechselproducte der Spaltpilze diese schliesslich schwächen und zur Degeneration bringen. Für diese Möglichkeit hat man gern die Erfahrungen über Production desinficirend wirkender, aromatischer Stoffe durch Spaltpilze angeführt; es ist aber bereits oben darauf hingewiesen (S. 202), dass genauere Feststellungen über die Bildung solcher Producte einstweilen fehlen und dass bis jetzt keine Anhaltspunkte für eine allgemeiner verbreitete und ausreichend starke Production derselben vorliegen.

In neuerer Zeit ist es auch gelungen, pathogene Pilze derart abzuschwächen, dass sie eine geringe oder keine Erkrankung des lebenden Körpers mehr zu bewirken vermögen. TOUSSAINT fand zuerst, dass durch Erhitzen von Milzbrandblut auf 55° und Zusatz von 1,2—1% Carbolsäure die Milzbrandbacillen ihre Virulenz verlieren. CHAUVEAU stellte fest, dass beim Erhitzen auf 52° in 15 Minuten, auf 50° in 20 Minuten eine genügende Abschwächung derselben Bacillen zu Stande kommt. PASTEUR cultivirte die Milzbrandbacillen in neutralisirter Fleischbrühe bei einer Temperatur von 42—43°, und erhielt nach etwa 20 Tagen derart abgeschwächte Bacillen, dass dieselben nicht mehr tödtliche Erkrankung hervorriefen. KOCH<sup>1)</sup> zeigte dann durch genaue Versuche, dass sich die Abschwächung der in neutralisirter Hühnerbouillon gezüchteten Milzbrandbacillen bei 43° in 6 Tagen, bei 42° in 30 Tagen erzielen lässt. Die abgeschwächten Bacillen zeigten im übrigen durchaus keine Differenz gegenüber den virulenten Pilzen und liessen sich auf Nährgelatine unter Beibehaltung aller morphologischer Eigenthümlichkeiten weiter züchten. — Aehnliche Beobachtungen haben ARLOING, THOMAS und CORNEVIN bei den Bacillen des Rauschbrands gemacht (vgl. S. 128); wurden deren Sporen 6 Stunden lang auf 55° erwärmt, so verloren sie ihre Virulenz. — Ferner erleiden nach PASTEUR die Bacterien der Hühnercholera (S. 115) eine Abschwächung ihrer pathogenen Eigenschaften dadurch, dass man die in alkalisirter Hühnerbouillon hergestellten Culturen längere Zeit (3—10 Monate) unter Luftzutritt stehen lässt; nach PASTEUR's Annahme soll der Sauerstoff hier wie auch bei den Milzbrandbacillen die wesentliche Ursache der Abschwächung sein. Die Versuche PASTEUR's über die Pilze der Hühnercholera sind indessen nicht einwandfrei; ebenso ist die von BUCHNER angeblich erzielte Abschwächung des Milzbrandvirus, auf die weiter unten näher einzugehen sein wird, nicht mit

1) KOCH, Ueber die Milzbrandimpfung. Cassel-Berlin 1882.



Sicherheit als eine Aenderung im physiologischen Verhalten derselben Pilzform anzusehen. — In den oben angeführten Fällen ist aber eine Abschwächung pathogener Spaltpilze ganz zweifellos erhalten, und zwar scheint wesentlich mässige Erwärmung auf 42—55° die Wirkung hervorzurufen. Diese Thatsache ist noch besonders wichtig für die unten zu behandelnde Theorie der Immunität und der Schutzimpfung.

Fragt man, in welcher Weise nun die Abschwächung der pathogenen Pilze zu Stande kommt, und durch welche Eigenschaften sich der pathogene Pilz von dem abgeschwächten unterscheidet, so lässt sich im Anschluss an die gegebene Characteristik der pathogenen Bacterien vermuthen, dass entweder bei der Abschwächung eine Verminderung der Wachstumsenergie vorliegt; diese würde dann nicht mehr ausreichen, um die Ausscheidung zu überflügeln oder trotz reactivter Entzündung den Platz zu behaupten. Oder aber es wäre auch denkbar, dass die Production deletärer Stoffe durch die Bacterien aufhört resp. vermindert wird, und dass dadurch die Waffe fortfällt, mittelst welcher die Pilze sich bis dahin Terrain erobert haben. Der letztere Vorgang würde dann einigermassen erinnern an den Verlust giftiger Eigenschaften bei gewissen höheren Pilzen und Pflanzen durch besondere Culturbedingungen, so bei den Cinchonaarten, beim Schierling (der in Schottland kein Coniin enthalten soll) u. s. w. — Bestimmtere Anhaltspunkte für eine Erklärung der Abschwächung pathogener Pilze müssen erst durch weitere Experimentaluntersuchungen gegeben werden.

Dass auch eine Anzüchtung pathogener Eigenschaften, somit eine Umwandlung harmloser Spaltpilze in infectiöse stattfinden könne, ist von BUCHNER behauptet, aber nicht durch fehlerfreie Versuche erwiesen; vgl. hierüber im letzten Capitel.

Eine weitere Eigenthümlichkeit der pathogenen Pilze ist noch die, dass sie nicht etwa gleichmässig gut in jedem thierischen Körper gedeihen, sondern dass die einen nur diese, die anderen nur jene Gattung von Thieren inficiren können, während sie die übrigen nicht zu schädigen vermögen. Nah verwandte Thierspecies zeigen in dieser Beziehung die auffälligsten Unterschiede; bekannt ist, dass z. B. Feldmäuse gegen die Form der Septicämie, welche Hausmäuse ausnahmslos tödtet, völlig immun sind; während wiederum die nämliche Krankheit bei Kaninchen nur eine vorübergehende locale Affection hervorruft. Aber selbst unter den Individuen ein und derselben Species bestehen derartige Differenzen; auch die den

Menschen heimsuchenden infectiösen Pilze befallen meist nur eine Reihe von „disponirten“ Individuen, während andere, die der Infection in gleicher Weise ausgesetzt waren, nicht ergriffen werden. — Häufig wird diese individuelle Disposition resp. individuelle Immunität dadurch bedingt sein, dass geeignete Eingangspforten für die pathogenen Pilze vorhanden sind oder aber fehlen; als solche haben wir, wie oben erwähnt wurde, z. B. kleine Wunden der äusseren Haut oder der Schleimhäute, oder entzündliche die Oberfläche der Schleimhaut verändernde Vorgänge anzusehen; auch eine besonders zarte Auskleidung der Oberflächen, wie sie namentlich dem jugendlichen Alter zukommt, kann die gleiche Rolle spielen. Auf derartigen scheinbar geringfügigen disponirenden Bedingungen beruht oft lediglich die Immunität einzelner Individuen oder ganzer Thierspecies. Bei manchen Infectionskrankheiten scheint aber das Verhalten der Eingangspforten keinen wesentlichen Unterschied in der Disposition zu bewirken; dann können vielleicht Differenzen im Ausscheidungsvermögen des Körpers, im Blutdruck, in der Energie der Nierenfunction die Erklärung für die ungleiche Ausbreitung der Krankheitserreger geben. Die erschwerte Wundheilung bei Menschen, die durch Diabetes geschwächt sind; die Widerstandsfähigkeit solcher Individuen, welche durch ihren Ernährungszustand oder durch Reizmittel über einen besonders energischen Stoffwechsel verfügen, können zur Illustration dieser Art von Disposition dienen. Oft vermögen die pathogenen Pilze nur in einzelnen krankhaft veränderten Organen sich zu etabliren, wobei die nähere, der Ansiedlung günstige Beschaffenheit dieser Organe vorläufig kaum definirbar ist. So müssen offenbar bei der Erkrankung an Lungentuberculose gewisse den Pilzen das Terrain vorbereitende Aenderungen der normalen Lungenschleimhaut vorhanden sein, und ohne diese pflegt keine Infection zu erfolgen; bei einer solchen Krankheit tritt die individuelle Disposition derart in den Vordergrund, dass die Invasion des Krankheitserregers, welche die eigentliche schwere Erkrankung bedingt, lange verdeckt bleiben und leicht für nebensächlich gehalten werden kann.

Zuweilen wird aber die Immunität einzelner Individuen in ganz anderer Weise, nämlich dadurch bedingt, dass sie die betreffende Krankheit schon einmal überstanden haben; die Immunität wird hier also erst durch die erste Erkrankung erworben. Allerdings gibt nicht bei jeder durch Spaltpilze erzeugten Infection das einmalige Ueberstehen Schutz gegen folgende gleiche Erkrankungen; bei Variola, Scharlach, Masern, beim Abdominaltyphus hat man eine

langdauernde Immunität nach dem Ueberstehen einer Infection beobachtet; experimentell konnte nachgewiesen werden, dass die durch kleinste Bacillen bewirkte Septicämie, die bei Kaninchen eine locale Affection am Ohr oder auf der cornea hervorruft, bei diesen nur einmal entsteht und sich nicht entwickelt, wenn einige Zeit nach der ersten Erkrankung eine zweite Impfung mit den Krankheits-erregern vorgenommen wird. Ferner ist bei Versuchen mit Rauschbrand beobachtet, dass nach Impfung mit kleinen Dosen Immunität eintritt. (Vgl. S. 128.) — Viele Infectionskrankheiten können dagegen von demselben Individuum zwei und mehrere Male acquirirt werden und eine Immunität gegen dieselben wird durch einmaliges Ueberstehen nicht erworben; so sind mehrfache Erkrankungen an Milzbrand bei Menschen und Pferden, ferner bei Menschen an Recurrens, Erysipel, Pyämie, Malaria, Gonorrhoe, beobachtet.

Eine Erklärung ist für diese, einigen Infectionskrankheiten eigenthümliche Art der Immunität noch nicht zu geben, wenn gleich Erklärungsversuche in grösserer Zahl vorliegen. So hat man z. B. vermuthet, dass dem Körper bei dem ersten Ueberstehen der Krankheit ein für das Leben der betreffenden pathogenen Pilze nothwendiger Stoff entzogen würde und dass der so erschöpfte Körper dann keinen geeigneten Nährboden mehr für spätere Ansiedlungen der Pilze biete (KLEBS, PASTEUR). Oder man hat angenommen, dass die mehrfach erwähnten den Pilzen selbst schädlichen Producte ihres Stoffwechsels im Körper lange verbleiben und dadurch demselben einen Schutz gegen folgende Invasionen verleihen können (CHAUVEAU, WERNICH). Nach BUCHNER soll bei den nicht recidivirenden Krankheiten die Ansiedlung der Pilze stets an einzelne bestimmte Organe geknüpft sein; unter dem Einfluss der Ansiedlung geht dann dies Gewebe eine „reactive Veränderung“ von längerer Dauer ein, und diese lässt eine zweite Infection nicht zu Stande kommen. GRAWITZ sucht die Immunität dadurch zu erklären, dass durch die Concurrenz zwischen Körperzellen und pathogenen Pilzen die Lebensenergie und das Assimilationsvermögen der Thierzellen gegenüber den Parasiten erhöht wird; durch Vererbung dieser höheren physiologischen Ernährungsenergie von einer Zellengeneration auf die andere soll die Dauer der Immunität bedingt sein. Weiter wäre noch eine aus der ersten Erkrankung resultirende dauernde Steigerung aller derjenigen oben erwähnten physiologischen Prozesse denkbar, die auf eine Schädigung oder auf eine Entfernung und Ausscheidung der Krankheitserreger hinzielen. — Für keine dieser verschiedenen Anschauungen konnten indess bisher bestimmte aus Beobachtungen oder Experimenten entnommene Beweise angeführt werden.

Von besonderem Interesse ist es, dass die Immunität gegen eine Bacterienkrankheit zuweilen nicht nur durch das Ueberstehen derselben Krankheit erworben wird, sondern auch dadurch, dass eine ähnliche, leichter verlaufende, aber durch ähnliche Spaltpilze bedingte Affection in dem Individuum abgelaufen ist. Auf Grund die-



ser Thatsache wird es dann offenbar möglich sein, gegen eine gefahrbringende Krankheit auch künstlich Immunität und Schutz hervorzurufen, dadurch, dass man jene ähnliche, aber geringfügigere Krankheit absichtlich einimpft. Das bekannteste Beispiel einer solchen durch Schutzimpfung erworbenen Immunität ist die Erzeugung der Vaccinapusteln, durch deren Ueberstehen auf Jahre hinaus ein sicherer Schutz gegen Variola gewährt wird. — In neuerer Zeit haben einige Forscher von der oben erwähnten Thatsache, dass gewisse Krankheitserreger durch geeignete Behandlung abgeschwächt werden können, Gebrauch gemacht, um künstlich Immunität hervorzurufen. So konnte PASTEUR durch Einimpfung seiner abgeschwächten Mikroben der Hühnercholera eine vorübergehende Krankheit erzeugen, welche die geimpften Thiere immun gegen die Einwirkung nicht abgeschwächter Mikroben machte. TOUSSAINT, CHAUVEAU, PASTEUR u. A. bedienten sich der abgeschwächten Milzbrandbacillen, um Immunität gegen echten Milzbrand zu erzeugen. PASTEUR wendet, um Schafe und Rinder gegen Milzbrand immun zu machen, 2 Schutzimpfungen an, die erste mit dem sehr stark abgeschwächten *premier vaccin*, die zweite mit dem weniger abgeschwächten *deuxième vaccin*. KOCH hat gezeigt, dass der erste Impfstoff die richtige Stärke dann hat, wenn Mäuse zwar getödtet, aber Meerschweinchen nicht geschädigt werden; dass dagegen der zweite Impfstoff Meerschweinchen noch inficiren, grössere Kaninchen nicht mehr mit Sicherheit tödten muss. Die Abschwächung der Milzbrandbacillen lässt sich leicht gerade bis zu dem gewünschten Grade treiben, wenn man mit den längere Zeit erwärmten Culturen von Zeit zu Zeit Controlimpfungen an Mäusen, Meerschweinchen und Kaninchen vornimmt. — Von PASTEUR ist dieser Schutzimpfung gegen Milzbrand entschieden ein zu hoher Werth beigelegt worden; dieselbe gelingt lediglich bei Schafen und Rindern, bietet hier aber namentlich gegen die natürliche, durch Sporen vom Darm aus erfolgte Infection ungenügenden und nur kurz dauernden Schutz und bringt andererseits durch den Impfstoff und die Impfung selbst erhebliche Gefahren für Thiere und Menschen. Trotzdem sind die bezüglichlichen Experimente von grösstem Interesse, da vielleicht andere Infectionskrankheiten demnächst sich als geeigneter für eine Schutzimpfung mit abgeschwächten Krankheitserregern und eine dadurch erworbene Immunität erweisen. — Eine Deutung des Vorgangs ist selbstverständlich bis jetzt völlig unmöglich, da die einzelnen Phasen desselben, die Abschwächung der Mikroorganismen einerseits, die durch Ueberstehen der Krankheit erworbene Immunität andererseits uns noch gänzlich räthselhaft sind.

---



Auch dann, wenn eine grosse Menge individuell disponirter Menschen oder Thiere vorhanden sind, pflegen die betreffenden Krankheitserreger nicht überall und immer, sondern nur zu gewissen Zeiten und an einzelnen Orten ihre Opfer zu suchen. Das Kommen und Gehen einer Infectionskrankheit, ihr Anschwellen zur ausgebreiteten Epidemie und ihr allmähliches Abschwellen hängt von einer Reihe äusserer Umstände ab, die man als örtliche und zeitliche Disposition zusammenfasst. Diese Umstände beziehen sich vorzugsweise auf die Verbreitung und die Entwicklung der Krankheitserreger in der äusseren Umgebung des Menschen und auf ihren Transport von da aus zum Menschen hin. Einige Krankheitserreger scheinen den Kreis ihrer Entwicklung fast ganz als Parasiten von Menschen oder Thieren durchzumachen; zu einem Wachsthum ausserhalb des lebenden Körpers scheint es bei ihnen höchst selten zu kommen und so findet die Uebertragung gewöhnlich von Körper zu Körper ohne Vermittlung der Aussenwelt statt. Bei vielen Infectionskrankheiten aber vollenden die ursächlichen Mikroorganismen ihre Entwicklung für gewöhnlich auf Substraten der äusseren Umgebung und gelangen von da nur gelegentlich in den thierischen Körper, um dort dann eine parasitäre Rolle zu spielen (vgl. S. 125). Die Vegetation dieser Pilze kann in den verschiedensten todtten Nährsubstraten, vor allem aber im porösen, mit organischen Substanzen durchsetzten Boden stattfinden; in diesem pflegt man stets eine enorme Zahl der verschiedensten Pilze oder Pilzkeime zu finden. Vom Boden aus gelangen dann die infectiösen Keime theils durch Nahrungsmittel, Geräthschaften, theils durch verschleppten Staub; zuweilen wohl durch Trink- und Gebrauchswasser; häufig endlich durch Luftströmungen in die nächste Umgebung der Menschen und Thiere. Je von der örtlichen Beschaffenheit und von dem zeitlichen Zustande der äusseren Umgebung wird es dann abhängen, ob eine stärkere oder geringere Vermehrung der Pilze und ein leichter oder erschwerter Transport zum Menschen hin erfolgen kann. In den übrigen Capiteln dieses Handbuchs (Luft, Boden, Volkskrankheiten) ist dies Verhalten der Mikroorganismen in unserer Umgebung näher geschildert, und es muss daher auf jene Darstellungen als nothwendige Ergänzung des hier über die Krankheitserregung der Pilze Gesagten verwiesen werden.

### III. Absterbebedingungen der niederen Pilze; Desinfection.

Verschiedene äussere Einflüsse verursachen eine Schädigung der niederen Pilze, die bald mehr bald weniger tief in die Lebensthätigkeit derselben eingreift. Alle derartige schädigende Factoren sind

offenbar deshalb von grossem Interesse, weil wir unter ihnen die Mittel suchen müssen, um die schweren uns von den Pilzen drohenden Gefahren, die Infectiouskrankheiten, zu beseitigen; und in etwas einseitiger Betonung dieses Gesichtspunkts bezeichnet man gern die gesammten das normale Leben der niederen Pilze alterirenden Einflüsse als „Desinfectionsmittel“.

Ausserordentlich zahlreiche Versuchsreihen über Art und Maass der Wirkung von Desinfection sind bereits ausgeführt; und doch müssen dieselben noch vielfach ergänzt und erweitert werden. Denn wie beim Studium der biologischen Eigenschaften der Pilze überhaupt, so hat sich auch hier gezeigt, dass die verschiedenen Pilze sich durchaus nicht gleichartig verhalten, dass die einen durch diesen, die anderen durch jenen Einfluss stärker betroffen werden; dass aber ferner auch wieder die ganze Summe der übrigen Lebensbedingungen die Wirkung des einzelnen Desinfectionsmittels beeinflusst. Höhere Temperaturen schädigen die Pilze leichter, wenn gleichzeitig schlechte Nährstoffe vorliegen; specifische Gifte variiren in ihrer wirksamen Dosis, je nachdem die äusseren Verhältnisse Optima repräsentiren oder von diesen abweichen. Besonders eingreifend ist der Effect der Sporenbildung. Liegen Pilze vor, welche diese so überaus resistenten Dauerformen bilden, so sind die Mittel machtlos, welche andere Pilze schon tief schädigen oder tödten. Sporentragende und sporenfreie Mikroorganismen sind daher bei Desinfectionsversuchen schlechterdings nicht gemeinsam zu behandeln, sondern erfordern eine durchaus gesonderte Prüfung.

Zu den Desinfectionsmitteln zählen nicht nur diejenigen, welche eine Tödtung und Vernichtung der Pilze bewirken; sondern auch solche Einflüsse, welche nur eine Behinderung des Wachstums und der Vermehrung, und selbst solche, welche lediglich eine Abschwächung der Lebensenergie oder den Verlust dieser oder jener Lebenseigenschaften bewirken. Diese einzelnen Phasen der Degeneration und des Absterbens erheischen daher eine getrennte Erörterung.

Die geringfügigste Schädigung von Mikroorganismen, welche wir unter der Einwirkung bestimmter äusserer Einflüsse beobachten, ist die Hemmung oder der Verlust der krankheitserregenden oder der gährungserregenden Eigenschaft gewisser Spaltpilze. Wie oben (S. 207 u. S. 256) ausgeführt wurde, kann durch fortgesetzte Einwirkung von Temperaturen, welche das Optimum nur wenig übersteigen, vielleicht auch durch andere Einflüsse — längere Berührung mit den eigenen Stoffwechselproducten, mit dem Sauerstoff der Luft — eine dauernde Abschwächung von Pilzen erzielt

werden in dem Sinne, dass sie nach wie vor zu wachsen und sich zu vermehren im Stande sind, aber sich nicht mehr befähigt zeigen, im lebenden Körper als Parasit zu fungiren und Krankheit zu erregen, oder in geeignetem Nährgemisch die gewohnte Gährung zu veranlassen. Bis jetzt ist eine derartige geringfügige dauernde Abschwächung aber nur bei wenigen Spaltpilzen gelungen; ob dieselbe auch bei anderen charakteristischen Krankheits- und Gährungserregern statthaben kann, ist vorläufig zweifelhaft und erst durch weitere Versuchsreihen zu entscheiden.

Noch schwächere Einflüsse genügen vielleicht, um die Gährungs- oder Krankheitserregung vorübergehend, d. h. nur in dem gerade vorliegenden Medium zu hemmen. Es ist möglich, dass ganz unerhebliche Aenderungen in der Zusammensetzung des Nährgemisches, minimale Zusätze von giftigen Stoffen oder geringe Temperatursteigerungen ausreichen, um diese speciellen Lebensäusserungen der Pilze zu hindern, ohne dass im übrigen eine Beschränkung des Wachsthum und der Vermehrung eintritt. Offenbar würde der Nachweis, dass bei einigen Pilzen ein solcher einseitiger Verlust der wichtigen Eigenschaften der Gährungs- und Krankheitserregung durch besonders geringe Eingriffe erfolgen kann, von grösstem Interesse sein; es fehlt aber zur Zeit noch an darauf abzielenden Versuchen, deren Ausführung sich erhebliche Schwierigkeiten in den Weg stellen.

In sehr verschiedener Weise lässt sich zweitens eine zeitweise, auf das Nährmedium beschränkte Wachstumsbehinderung der niederen Pilze zu Stande bringen, mit welcher dann bei den Gährungserregern stets ein Aufhören der Gährthätigkeit verbunden ist. Die Wachstumsheftung erfolgt zunächst am einfachsten durch allmähliche Erschöpfung der Nährstoffe. In jedem Nährmedium tritt bei fortgesetzter Vermehrung der Pilze allmählich der Fall ein, dass ein Theil der Colonien oder alle nicht mehr die zur weiteren Entwicklung nothwendigen Nährstoffe vorfinden. In Flüssigkeiten lagern sich dann die bis dahin gebildeten Spross- und Spaltpilze als pulvriger Niederschlag auf dem Boden des Gefässes ab. Wie lange die Pilze in solchem Zustande ohne Nahrungszufuhr sich lebensfähig erhalten können, das hängt wesentlich von der betreffenden Pilzspecies ab. Die einen ertragen das latente Leben nur kurze Zeit; sie degeneriren und zerfallen bald; andere sind bedeutend widerstandsfähiger. Zu den ersteren gehören die meisten Mikrokokken; zu letzteren namentlich die sporenbildenden Bacillen, deren Sporen Jahrelang lebensfähig bleiben. Haben Hefe- oder Schimmelpilze Sporen gebildet, so ist auch für diese ein Wiederaufleben nach lan-

ger Ruhepause ermöglicht. — Dabei ist es nicht erforderlich, dass alle Nährstoffe den Pilzen entzogen sind, sondern selbstverständlich genügt schon das Fehlen eines einzigen nothwendigen Nährstoffs, um sie zu einer Periode der Ruhe zu zwingen.

Eine theilweise Behinderung des Wachsthumns bedingen ferner überhaupt alle diejenigen Aenderungen der Existenzbedingungen, welche ein Abweichen derselben von dem Optimum veranlassen. Diese günstigsten Lebensverhältnisse sind oben ausführlich erörtert; es ist dort auch bereits darauf hingewiesen, wie jedes Hinausgehen der Temperatur, der Concentration u. s. w. über eine gewisse Grenze eine Beeinträchtigung der Lebensenergie der Pilze im Gefolge hat. Ebenso ist dem Einfluss der Concurrenz anderer Pilze und namentlich der Gährungserreger im gleichen Nährmedium bereits Erwähnung geschehen (S. 176). — Von grösster practischer Bedeutung für die Erzielung einer Wachsthumshemmung ist der Zusatz kleiner Mengen giftig wirkender chemischer Stoffe zum Nährmedium. Dieselben Gifte vermögen häufig in grösseren Dosen die Pilze dauernd lebensunfähig zu machen; aber es wäre falsch anzunehmen, dass nun auch die stärksten wachsthumshemmenden Mittel stets die stärksten tödtenden seien; vielmehr rangirt oft derselbe chemische Körper bezüglich beider Arten von Wirkung auf ganz verschiedenen Stufen. Es beruht diese Differenz hauptsächlich darauf, dass bei dem Zusatz der wirksamen Stoffe zu den Nährmedien häufig chemische Umsetzungen eintreten, durch die ein Theil des Desinfectionsmittels zerstört oder unwirksam gemacht wird. Je nach der Zusammensetzung der Nährlösung wird dieser Effect variiren, und daher ist es klar, dass bestimmte Werthe für die wachsthumshemmenden Mittel sich nur für ein- und dieselbe Nährlösung aufstellen lassen, während für abweichende Substrate andere Werthe Platz greifen. Ferner verhalten sich, wie oben erwähnt, die verschiedenen Pilzarten durchaus different gegen schädigende Einflüsse, und für die gleichen Pilze hängt das Maass der Wirkung stets noch von den übrigen gleichzeitig vorhandenen Lebensbedingungen ab. Eine allgemein gültige Scala über den Werth der wachsthumshemmenden Mittel ist daher eigentlich gar nicht zu geben. Im Folgenden soll nur eine Zahlenreihe angeführt werden, welche durch Versuche von R. KOCH<sup>1)</sup> für Milzbrandbacillen ermittelt ist, und welche bis zu einem gewissen Grade auch für andere pathogene Bacillen als massgebend angesehen

1) Mittheilungen aus dem Kais. Ges. Amt, Bd. I, 1881. — Eine andere sorgfältige Versuchsreihe ist neuerdings von DE LA CROIX für Fleischwasserbacterien ausgeführt (Arch. f. exp. Path. u. Pharm. Bd. 13. S. 175).



werden kann. Die Zahlen sind so gewonnen, dass kleine Krystallisationschalen mit 10 cc. Blutserum oder Pepton-Fleischextractlösung (1% Pepton-,  $\frac{1}{2}$ % Fleischextractlösung) gefüllt und dann mit dem Desinfectionsmittel versetzt wurden. Eine Reihe solcher Schalen, darunter auch stets einige ohne Desinfectionsmittel, standen nebeneinander unter einer feucht gehaltenen Glaslocke. Nun wurde in jedes Schälchen ein mit angetrockneten Milzbrandsporen versehener Seidenfaden gelegt; in den nicht desinficirten Controlgefäßen konnte schon nach 24 Stunden stets ein Wachsthum von langen Milzbrandfäden mit dem Mikroskop constatirt werden, die ein sehr charakteristisches und nicht leicht zu verwechselndes Aussehen bieten. In gleicher Weise wurde im Laufe der folgenden Tage eine Besichtigung der übrigen Schalen unter dem Mikroskop vorgenommen, und so durch das Ausbleiben des Wachstums resp. durch das Auftreten der Fäden die Wirksamkeit oder Unwirksamkeit des Desinfectionsmittels festgestellt. Die wichtigsten der erhaltenen Zahlen sind folgende:

	Merkliche Behinderung des Wachstums trat ein bei einer	Völlige Aufhebung des Wachstums Concentration von:
Quecksilberchlorid . . . . .	1 : 1.600.000 . . . . .	1 : 300.000
Senföl . . . . .	1 : 330.000 . . . . .	1 : 33.000
Allylalkohol . . . . .	1 : 167.000 . . . . .	—
Arsenigaures Kali . . . . .	1 : 100.000 . . . . .	1 : 10.000
Thymol . . . . .	1 : 80.000 . . . . .	—
Terpentinöl . . . . .	1 : 75.000 . . . . .	—
Blausäure . . . . .	1 : 40.000 . . . . .	1 : 8000
Pfeffermünzöl . . . . .	1 : 33.000 . . . . .	—
Nelkenöl . . . . .	1 : 5000 . . . . .	—
Kaliseife . . . . .	1 : 5000 . . . . .	1 : 1000
Jod . . . . .	1 : 5000 . . . . .	—
Osmiumsäure . . . . .	1 : 6000 . . . . .	—
Salzsäure . . . . .	1 : 2500 . . . . .	1 : 1700
Borsäure . . . . .	1 : 1250 . . . . .	1 : 800
Borax . . . . .	1 : 2000 . . . . .	1 : 700
Brom } . . . . .	1 : 1500 . . . . .	—
Chlor } . . . . .	1 : 1500 . . . . .	—
Kaliumpermanganat . . . . .	1 : 1400 . . . . .	—
Salicylsäure . . . . .	1 : 3300 . . . . .	1 : 1500
Benzoësäure . . . . .	1 : 2000 . . . . .	—
Carbolsäure . . . . .	1 : 1250 . . . . .	1 : 850
Benzoësaures Natron . . . . .	1 : 200 . . . . .	—
Campher . . . . .	1 : 2500 . . . . .	über 1 : 1250
Eucalyptol . . . . .	1 : 2500 . . . . .	über 1 : 1000
Chinin . . . . .	1 : 830 . . . . .	1 : 625
Alkohol . . . . .	1 : 100 . . . . .	1 : 12,5
Chlorsaures Kali . . . . .	1 : 250 . . . . .	—
Kochsalz . . . . .	1 : 64 . . . . .	—

Drittens kommt die Tödtung der Mikroorganismen in Frage, und zwar interessiren die hierzu anwendbaren Mittel am meisten, weil bei practischen Desinfectionsversuchen gewöhnlich die Aufgabe vorliegt, die betreffenden Pilze so zu schädigen, dass ein Wachsthum und eine Vermehrung selbst nach dem Uebertragen in ein günstiges Nährmedium unmöglich ist. — Ein wirkliches Absterben der niederen Pilze tritt zunächst häufig dann ein, wenn der Zustand des latenten Lebens, in welchen sie durch Entziehung aller oder einiger wichtiger Nährstoffe versetzt sind, längere Zeit andauert. Nur für sporenbildende Pilze kann dieser Zustand ohne Schaden Jahrelang andauern. Wird den ruhenden sporenfreien Pilzen gleichzeitig Wasser entzogen, so tritt das Absterben um so früher ein. — Ein sehr wirksames Mittel zum Tödten der niederen Pilze sind höhere Temperaturen (niedere Temperaturen selbst der extremsten Art erweisen sich völlig unwirksam); allerdings hängen die zur tödlichen Wirkung nöthigen Hitzegrade durchaus von der Art der Pilze und namentlich davon ab, ob Sporen zu vernichten sind oder ob sporenfreies Material vorliegt. — Sporenfreie Spaltpilze werden in Flüssigkeiten oder in benetztem Zustande meist schon durch mehrstündige Einwirkung einer Temperatur von 50 bis 70° getödtet. Durch solche relativ niedrige Hitzegrade kann man selbst sporenbildende Pilze tödten, wenn man die Erhitzung öfter wiederholt, indem man dann darauf rechnen darf, dass in den Pausen ein Auswachsen der Sporen zu Bacillen stattfindet; letztere werden, ehe eine erneute Sporenbildung eintreten kann, durch die folgende Erhitzung getödtet, und nach 5—6maligem Erhitzen kann man sicher sein, dass keine keimfähigen Sporen mehr existiren und dass alle ausgewachsenen Spaltpilze vernichtet sind. Beispielsweise lässt sich Blutserum von allen Pilzen befreien, ohne dass man die zur Desinfection benutzte Hitze bis zum Gerinnungspunkt der Eiweissstoffe steigen lässt; dasselbe wird 5—6 Tage hintereinander täglich eine Stunde auf etwa 56° erhitzt und dadurch vollkommen von allen entwicklungsfähigen Keimen befreit. — Viel schwieriger ist schon eine rasche Tödtung von Schimmelpilzsporen. Heisse Luft von 120° bewirkte bei ½ stündiger Einwirkung nicht völliges Absterben; erst bei einer 1½ stündigen Erhitzung auf 110—115° trat sicheres Abtödten ein. *Penicillium*sporen zeigten sich bei diesen Versuchen weniger resistent, wie Sporen von *Asperg. niger*. — Am schwierigsten endlich sind *Bacillens*sporen zu tödten, wenngleich auch unter diesen noch grosse Differenzen hervortreten. So sind Milzbrandsporen weniger widerstandsfähig als die Sporen von Heubacillen und

diese wiederum weniger als gewisse in Gartenerde häufig enthaltene Bacillensporen. Durch heisse Luft ist eine Vernichtung aller dieser Sporen kaum möglich; die hierüber von KOCH in einem der gebräuchlichen Desinfectionsofen angestellten Versuche ergaben, dass Bacillensporen erst durch 3ständigen Aufenthalt in  $140^{\circ}$  heisser Luft getödtet werden; liegen grössere schlecht wärmeleitende Gegenstände vor, deren Inneres zu desinficiren ist, so ist eine viel längere Dauer der Erhitzung erforderlich, bis die Tödtungstemperatur das Innere der Objecte erreicht hat. Schon bei einer 3ständigen Einwirkung von  $140^{\circ}$  werden aber sämmtliche Kleiderstoffe und Gebrauchsgegenstände in irreparabler Weise beschädigt.

In Flüssigkeiten gelingt die Tödtung der Bacillensporen weit leichter; in Wasser von  $100^{\circ}$  sind Milzbrandsporen binnen 2 Minuten getödtet; Heubacillussporen ertragen diese Temperatur etwa 5 Minuten; nach 15 Minuten sind sämmtliche Sporen vernichtet. Es ist aber oft schwierig, die ganze Flüssigkeitsmasse, die zu desinficiren ist, gleichmässig auf  $100^{\circ}$  zu erwärmen; so gebrauchte ein Liter Wasser, das im geschlossenen Dampfkochtopf erhitzt wurde, von dem Moment ab, wo die Temperatur des Dampfes  $120^{\circ}$  zeigte, noch über 1 Stunde, um im Innern die Temperatur des Dampfes annähernd zu erreichen. — Sehr leicht ist es dagegen, wie KOCH gezeigt hat, durch strömenden Wasserdampf die zur Vernichtung der Sporen nöthige Temperatur von  $100^{\circ}$  in allen möglichen Objecten zu erzielen. Die Grundlage des dazu erforderlichen Apparats bildet ein grösserer Kochtopf, auf welchem senkrecht ein weites, 1—2 Meter hohes Rohr aus Zinkblech steht; dieses Rohr ist oben konisch verjüngt und läuft schliesslich in eine kurze Röhre von nur 1 Cm. Durchmesser aus. Das Rohr wird dicht auf dem Kochtopf befestigt und aussen mit schlecht wärmeleitenden Hüllen umgeben. Erhitzt man Wasser im Kochtopf zum Sieden, so strömt bald der Wasserdampf in starkem Strahle aus der oberen engen Oeffnung, und von da ab zeigt der ausströmende Dampf constant eine Temperatur von  $100^{\circ}$ . Bringt man nun in den verticalen Aufsatz zu desinficirende Objecte, so werden diese aufs schnellste von dem strömenden Wasserdampf durchdrungen und auf  $100^{\circ}$  erhitzt; und schon nach wenigen Minuten sind auch die resistentesten Bacillensporen getödtet. Je nach der Natur der Objecte wird die Zeitdauer der Erhitzung natürlich etwas variirt werden müssen. Eine Beschädigung von Stoffen tritt dabei nur in geringem Grade ein. Von dieser Anwendung des strömenden Wasserdampfes von  $100^{\circ}$  wird man daher bei der Ausführung der Desinfection durch Hitze vorzugsweise Gebrauch machen müssen

Bei einer Tödtung durch giftig wirkende Stoffe hängt die erforderliche Dosis auch wieder wesentlich davon ab, ob sporenbildende oder sporenfreie Pilze vorliegen. Carbolsäure tödtet z. B. sporenfreie Milzbrandbacillen bereits bei einer Concentration von 0,25—0,5 %; dagegen werden sporenhaltige Milzbrandculturen durch 3%ige Carbolsäure erst nach 7 Tagen, durch 5%ige Carbolsäure nach 1—2-tägiger Einwirkung vernichtet. In der Desinfectionspraxis hat man es in vielen Fällen erwiesenermassen mit sporenbildenden Krankheitserregern zu thun; in anderen Fällen ist es zweifelhaft, ob die zu tödtenden Pilze Sporen bilden; immerhin wird man daher volles Vertrauen lediglich zu einem solchen Desinfectionsverfahren haben können, durch welches auch Sporen vernichtet werden. Dementsprechend hat eine Prüfung der verschiedenen Desinfectionsmittel auf ihre sporentödtende Wirkung fast allein Interesse, und im Folgenden sollen daher auch nur die Resultate einer von KOCH mit sporenhaltigen Milzbrandculturen ausgeführten Versuchsreihe im Auszuge mitgetheilt werden.

1) Ohne jede Einwirkung auf Milzbrandsporen waren selbst bei monatelanger Anwendung:

Destillirtes Wasser.	Thymol (5 % in Alkohol).
Absoluter Alkohol.	Ammoniak.
Chloroform.	Kochsalzlösung (conc.)
Schwefelkohlenstoff.	Calciumchloridlösung (conc.)
Glycerin.	Kaliumchlorat (5 % in Wasser).
Benzol.	Alaun (4 % in Wasser).
Benzoësäure (conc. wässr. Lösung).	Borax (5 % in Wasser).
Salicylsäure (5 % in Alkohol, 2 % in Oel).	Kaliseife (2 % in Wasser).

2) Unvollständige oder langsame Wirkung auf Milzbrandsporen zeigten:

Aether (unvollständige Wirkung nach 8, vollständige nach 30 Tagen).  
 Aceton (unvollständig nach 5 Tagen).  
 Jod, 1 % in Alkohol (unvollständig am 1. Tage).  
 Schwefelsäure, 1 % in Wasser (unvollständig nach 10 Tagen).  
 Kupfersulfat, 5 % in Wasser (unvollständig am 5. Tage).  
 Borsäure, gesättigte wässr. Lösung (unvollständig am 6. Tage).  
 Salzsäure, 2 % in Wasser (vollständig am 10. Tag).  
 Arsenige Säure, 1 % im Wasser (vollständig nach 10 Tagen).  
 Schwefelwasserstoffwasser (unvollständig nach 5 Tagen).  
 Schwefelammonium (vollständig nach 5 Tagen).  
 Ameisensäure, 1,12 spec. Gew. (vollständig am 4. Tage).



Chinin, 2 % in Wasser ( $\frac{2}{5}$ ) und Alkohol ( $\frac{3}{5}$ ), (unvollst. am 1. Tage.)

Chinin, 1 % in Wasser mit Salzsäure (vollständig am 10. Tage).

Terpentinöl (unvollst. am 1. Tag, vollst. nach 5 Tagen).

Chlorkalk, 5 % in Wasser (unvollst. am 1.—2. Tag, vollst. nach 5 Tagen).

Eisenchlorid, 5 % in Wasser (unvollst. am 2. Tag, vollst. nach 6 Tagen).

3) Rasche und vollständige Wirkung zeigten:

Chlorwasser, frisch bereitet

Brom, 2 % in Wasser.

Jodwasser

Osmiumsäure, 1 % in Wasser.

Kaliumpermanganat, 5 % in Wasser.

Quecksilberchlorid, 1:20.000 in Wasser

sämmtlich  
am ersten  
Tage.

Carbolsäure bewirkte völlige Vernichtung der Sporen in 5 % iger wässriger Lösung zwischen dem 1. und 2. Tag; in Oel oder in Alkohol zu 5 % gelöst zeigte sie sich gegen Milzbrandsporen vollkommen unwirksam; sporenfreie Milzbrandbacillen wurden erst am 6. Tage getödtet. — Schweflige Säure tödtete in den stärksten, in der Praxis nicht mehr anwendbaren Concentrationen Sporen unvollständig; gegenüber sporenfreiem Material war die Wirkung bei 10 Vol. Proc. noch eine unsichere, sobald dickere Schichten zu desinficiren waren. — Von den Halogenen zeigte Brom die relativ sicherste Wirkung. — Weitaus am günstigsten waren die mit Quecksilberchlorid erhaltenen Zahlen; bei einer Concentration von 1:5000 bedurfte es nur einer wenige Minuten dauernden Einwirkung, um alle Milzbrandsporen zu vernichten; eine Lösung von 1:20.000 tödtete dieselben Sporen nach einer Einwirkungsdauer von 10 Minuten, allerdings nicht in allen Fällen, so dass die angegebene Verdünnung die Grenze der zuverlässigen Wirkung zu bezeichnen scheint.

In manchen Fällen ist das Ziel der Desinfection nicht die Tödtung oder Wachsthumshemmung der niederen Pilze, sondern nur eine vorläufige Behinderung der Verbreitung derselben von bestimmten Objecten aus. Es lässt sich dann eine Fixirung der Mikroorganismen erreichen dadurch, dass man die Objecte mit Wasser oder mit Mischungen von Wasser und Glycerin oder dgl. befeuchtet erhält. Durch zahlreiche Versuche ist festgestellt, dass aus pilzhaltigen Flüssigkeiten unter den gewöhnlich vorliegenden Verhältnissen keine Pilzkeime in die Luft übergehen und dass somit durch reichliche Befeuchtung für eine gewisse Zeit die weitere Verbreitung derselben gehindert werden kann.

Ueber die eigentliche Desinfectionspraxis, über die Indicationen zur Inszenirung einer Desinfection, über die Wahl und Behandlung der zu desinficirenden Objecte und über die Desinfectionsmassregeln bei verschiedenen Krankheiten und unter verschiedenen Verhältnissen handeln die späteren Abschnitte dieses Handbuchs (vgl. namentlich unter „Volkskrankheiten“).

#### IV. Constanz und Veränderlichkeit der Pilzarten.

Eine hervorragende Bedeutung hat neuerdings die Frage gewonnen, ob die bisher abgegrenzten Species und Varietäten der niederen Pilze auch wirklich constante unterscheidbare Form und constantes physiologisches Verhalten zeigen, oder ob die aufgestellten und zur Unterscheidung der Arten benutzten morphologischen und biologischen Merkmale schwankende, inconstante Attribute sind, die sich namentlich leicht unter dem Einfluss der äusseren Existenzbedingungen verändern.

Zur Lösung dieser Frage lassen sich vielleicht Anhaltspunkte gewinnen durch einen Vergleich mit den höheren Pflanzen, die in der Constanz oder Wandelbarkeit ihrer Arten und ihrer charakteristischen Kennzeichen eventuell brauchbare Analogieen bieten. Eine eigentliche Entscheidung wird aber durch eine solche Parallele selbstverständlich nicht erbracht werden können; sondern diese wird lediglich durch Beobachtung und Experiment zu liefern sein.

Man hat nun in der That längst feststellen können, dass eine Reihe von morphologischen und biologischen Aenderungen an allen Pflanzen zu beobachten ist. Zunächst sieht man gewisse Aenderungen regelmässig an allen normalen Pflanzen derselben Art verlaufen; dieselben gehören dann durchaus zum Character der Species und vervollständigen nur die besonderen Merkmale der Species. Dahin gehören z. B. die Veränderungen, welche die Pflanze auf den verschiedenen Stufen ihres Wachstums und ihrer Entwicklung erfährt; ferner z. B. der Generationswechsel der Pilze mit seinen enormen Verschiedenheiten in Form und physiologischem Verhalten. Wo der Entwicklungskreis einer Art noch nicht vollständig erforscht ist, muss es leicht vorkommen, dass verschiedene Entwicklungsformen derselben Species einstweilen als besondere Arten unterschieden werden, bis genauere Erkenntniss ihre Zusammengehörigkeit erwiesen hat.

Ferner treten zuweilen Aenderungen im Verhalten einiger Pflanzen ein, welche als Modificationen und meistens als Abnormitäten geringeren oder stärkeren Grades bezeichnet werden können. Dieselben werden durch irgend welche ungewöhnliche äussere Einflüsse hervorgerufen; Verletzungen und mechanische Insulte, abnorme Nahrung, ungünstiger Standort und viele andere Ursachen wirken dabei einzeln oder gemeinsam. Die Folge sind äusserlich sichtbare Degenerations- und Involutionen zustände verschiedenster Art und Abweichungen im physiologischen Verhalten. Die Schwankungen im

Aschengehalt der Pflanzen, die oft enorme Ansammlung von Kieselsäure; die Bleichsucht der Pflanzen bei eisenfreier Nahrung; die Anhäufung von Amiden bei hungernden Blütenpflanzen; die blässeren Färbungen mancher Blüten u. s. w. sind solche durch äussere Verhältnisse hervorgerufene Aenderungen. Characteristisch für dieselben ist aber der Umstand, dass sie nicht constante, erbliche Attribute aller Nachkommen der so veränderten Pflanzen sind; sie dauern nur, so lange die beeinflussenden äusseren Momente wirksam sind, und verschwinden nach wenigen Generationen, wenn wieder völlig normale Verhältnisse vorgelegen haben. Die Kennzeichen dieser Modificationen sind somit derart variabel, dass sie sich durchaus nicht etwa zur Aufstellung und Characterisirung einer neuen Species eignen; dafür sind vielmehr constante, lange Zeit vererbare Merkmale erforderlich.

Drittens muss nun aber auch angenommen werden, dass die unserer directen Beobachtung als constant imponirenden Eigenschaften der Species innerhalb längerer Zeiträume eine Umwandlung erfahren. Unter vielen gleichen, denselben äusseren Bedingungen ausgesetzten Pflanzen zeigen zuweilen einige Exemplare geringfügige Differenzen; die Nachkommen dieser halten die Abweichungen fest; nach wiederum langer Zeit stellen sich unter den Nachkommen abermals einige Exemplare ein, welche geringe neue Abweichungen zeigen, und so kann allmählich der Grund zu neuen Varietäten und Arten gelegt werden. Dieses Endziel wird namentlich dann erreicht, wenn entweder die Abweichungen derart sind, dass die damit behafteten Pflanzen unter den gegebenen äusseren Verhältnissen die stärkeren sind und sich rascher vermehren, als die übrigen nicht variirten Exemplare; oder aber wenn die Hand des Züchters absichtlich die in einer bestimmten Richtung abweichenden Individuen auswählt und diese allein zur weiteren Zucht verwendet.

In solcher Weise sucht bekanntlich die DARWIN'sche Hypothese die Entstehung der Varietäten, Arten, Gattungen zu erklären. Dabei ist es aber wichtig und für die Kennzeichnung einer gut definirbaren Art unerlässlich, dass die neuen Eigenschaften relativ constant sind und nicht durch verschiedenste äussere Umstände alterirt werden können. In der That erscheint es unmöglich, durch anders gewählte äussere Umstände andere Species beliebig herzustellen; bei dahin zielenden Versuchen bleiben die Pflanzen dieselben, erleiden höchstens Modificationen und degeneriren, aber erlangen keine constante und erbliche Abweichungen, falls nicht eine in der Pflanze gelegene Neigung zum Variiren sich geltend macht und zu neuen



Merkmale führt. Auf eine solche, ihrem eigentlichen Wesen nach noch nicht zu erklärende Neigung der Pflanzen zum Variiren ist das Entstehen aller Varietäten zurückzuführen. Diese Neigung ist je nach der Art der Pflanze sehr verschieden gross; die einen bilden ausserordentlich leicht Varietäten, die anderen ausserordentlich selten; jedenfalls bilden sich die Abweichungen gerade so gut aus, wenn die Pflanzen sämmtlich unter möglichst gleichen Bedingungen gehalten werden, als wenn sie verschiedenen Einflüssen ausgesetzt sind. Nur die Lebens- und Entwicklungsfähigkeit der varifirten Pflanzen hängt von der Gesammtheit der äusseren Bedingungen ab. — Von dem bedeutendsten Einfluss auf die Neigung zu variiren ist die sexuelle Vereinigung verschiedener Individuen; wo eine solche vorliegt, pflegen Variationen sehr reichlich gebildet zu werden. Aber auch ohne sexuelle Processe ist die Disposition mancher Pflanzen zur Bildung neuer Abarten eine sehr grosse.

Sucht man nun aus diesen Anschauungen über die Entstehung und Characterisirung der Arten bei den höheren Pflanzen, welche namentlich von NÄGELI präcisirt wurden, Anhaltspunkte für das entsprechende Verhalten der niederen Pilze zu gewinnen, so darf man wohl die Annahme machen, dass bei diesen die Bildung von Modificationen, Varietäten, Arten im ganzen in ähnlicher Weise statthaben wird. Möglicherweise werden gewisse Aenderungen der Form nur als Entwicklungsstufen derselben Art aufzufassen sein und in den Rahmen der Species hinein gehören; ferner werden unter der Einwirkung bestimmter äusserer Einflüsse vorübergehende Modificationen entstehen; endlich werden auch vielleicht Varietäten und neue Arten mit constanten, vererbbaaren Merkmalen aus den vorhandenen Arten hervorgehen. In welchem Umfang die Varietätenbildung statthat, das wird vermuthlich von der Neigung der niederen Pilze zum Variiren abhängen; ob diese gross oder gering ist, darüber können nur Beobachtungen und Experimente entscheiden. Da bei den niederen Pilzen und namentlich den Spaltpilzen sexuelle Processe fehlen, und somit einer der wichtigsten Factoren bei der Varietätenbildung in Wegfall kommt, ist von vorn herein eher eine starke Constanz der Arten und ein langsames Variiren zu erwarten. Andererseits könnte die rasche Vermehrung und die schnelle Folge neuer Nachkommen bewirken, dass trotzdem die Variationen rascher als bei den höheren Pflanzen, in messbaren Zeiträumen und gleichsam vor unsren Augen verlaufen können. Aber es muss noch als fraglich bezeichnet werden, in welcher Weise wir die einzelnen Generationen bei den Pilzen abgrenzen müssen. Ist jede Spaltpilzzelle als ein Individuum



anzusehen und repräsentirt eine einzige Colonie eine unzählige Menge von Generationen? Oder sind die Zellen einer solchen Colonie den Zellen der höheren Pflanzen vergleichbar, und wird erst mit dem Eintritt der Fructification, der Sporenbildung, eine neue Generation geschaffen?

Wir gelangen so nur zu einer Reihe von offenen Fragen und zu der Ueberzeugung, dass aus der Analogie der höheren Pflanzen nichts entscheidendes für das Verhalten der niederen Pilze zu entnehmen ist. Es ist daher lediglich von Beobachtungen und Experimenten ein bestimmter Entscheid zu erhoffen. Jedenfalls spricht aber von vornherein nichts dafür, dass wir für die niederen Pilze eine erheblich erleichterte und häufigere Variirung annehmen müssen, als für die höheren Pflanzen.

Was nun die Resultate der zahlreichen in dieser Richtung angestellten Beobachtungen anlangt, so hat man zunächst allerlei morphologische Differenzen an den niederen Pilzen beobachtet. Einige dieser Differenzen gehören zu denen, welche lediglich die Species characterisiren helfen. In diesem Sinne bewirken die Vorgänge des Wachstums und der Entwicklung gewisse bei derselben Art stets gleich verlaufende Formverschiedenheiten. Wir sehen aus einfachsten Sporenzellen Stäbchen und Fäden hervorgehen, in den Fäden sich Sporen bilden; wir beobachten ferner bei Schimmelpilzen wie *Aspergillus*, *Penicillium* den Uebergang in eine völlig andere Fruchtform, wir sehen die gewöhnliche Hefe in die ganz anders gestalteten sporentragenden Zellen übergehen. Aeusserer Einflüsse tragen oft zur Bildung der einen oder der anderen Entwicklungsform bei; aber immer entstehen nur die bestimmten der Art charakteristischen Formen, nicht beliebige und nach den jeweiligen äusseren Verhältnissen variirende Abweichungen. Trotz dieser Formdifferenzen oder vielmehr gerade auf Grund derselben lassen sich also leicht bestimmte Species aufstellen. Es kommt nur darauf an, dass man alle Entwicklungsstufen kennen lernt und in die Merkmale der Species einrangiert.

Zweitens kommen auch bei den niederen Pilzen Modificationen der Form unter dem Einfluss äusserer Agentien zu Stande. In geringem Grade mögen z. B. die Nährverhältnisse die Form in ähnlicher Weise beeinflussen, wie es bei höheren Geschöpfen der Fall ist. Geringe Zu- oder Abnahme an Dicke, ein stärkerer Turgor der Zellen und Fäden ist wohl hier und da zu beobachten. Aber bei einiger Aufmerksamkeit lässt sich wahrnehmen, dass diese Abweichungen nie weit genug gehen, um gewisse für die einzelne Art bis-

her als charakteristisch angesprochene Merkmale der Form in Frage zu stellen. Das Verhältniss der Länge der stäbchenförmigen Spaltpilze zu ihrer Breite, die Art der Kokkeneinschnürung bei der Theilung, die Form der Enden der Stäbchen, die Art des Fadenverlaufs, der Modus der Zusammenlagerung der Spaltpilze, vor allem aber das ausschliessliche Vorkommen derselben Art entweder in Kokken- oder in Bacillen- oder in Spirillenform bleiben von solchen Veränderungen stets völlig unberührt. — Stärker modificirte Formen entstehen, wenn abnorme Aussenverhältnisse zu pathologischen Zuständen und zur Degeneration führen. So beobachtet man an den aus manchen Bacillen hervorgegangenen Fäden zuweilen bauchige Erweiterungen; und bei absterbenden Bacterien findet allmählig ein körniger Zerfall des Protoplasmas statt.

Abgesehen von diesen leicht richtig zu würdigenden Abweichungen, zeigen sich also die wichtigsten der bisher als charakteristisch aufgestellten morphologischen Merkmale der niederen Pilze entschieden constant. Bei den Spaltpilzen ist man allerdings auf äusserst spärliche einfache Kennzeichen der Form angewiesen; manche verschiedene Arten werden wir deshalb noch gar nicht auseinander zu erkennen vermögen und das oben gegebene, wesentlich auf morphologische Kennzeichen gegründete System der Spaltpilze wird gewiss demnächst manche Erweiterung erfahren. Andererseits ist es auch denkbar, dass dasselbe System nach dieser oder jener Richtung hin eine Einschränkung erfährt, wenn nämlich der Nachweis gelingen sollte, dass einige der bisher als besondere Arten unterschiedenen Formen in genetischem Zusammenhang stehen und nur Entwicklungsstufen einer Art darstellen. Je mehr aber das Beobachtungsmaterial über die Spaltpilze sich häuft, um so wahrscheinlicher wird es, dass die meisten der zur Zeit auf Differenzen der Form gegründete Artenunterschiede Bestand haben werden. Und wenn auch wirklich noch hier und da eine Reduction der Arten eintreten müsste, so würde das doch der Constanz der sonstigen wesentlichsten bisher unterschiedenen morphologischen Merkmale keinen Eintrag thun; namentlich erscheint es durchaus wahrscheinlich, dass die differentesten Formen, wie Mikrokokken, Bacillen und Spirillen spezifische, für bestimmte Arten von Spaltpilzen charakteristische und nicht in einander übergehende Formen darstellen.

Manche Forscher (NÄGELI, BUCHNER, WERNICH, ZOPF u. A.)<sup>1)</sup> haben

<sup>1)</sup> NÄGELI, Die niederen Pilze. München 1876. — Untersuchungen über niedere Pilze, Leipzig-München 1882. — BUCHNER, in NÄGELI's Untersuchungen. — ZOPF, Zur Morphologie der Spaltpflanzen, Leipzig 1882. — WERNICH, Desinfectionslehre.

freilich durchaus andere Ansichten über die Constanz der Form. Sie nehmen zunächst an, dass die hauptsächlichsten bisher an Spaltpilzen unterschiedenen Formenmerkmale (Kokken-, Bacillen-, Spirillenform) nicht für distincte Arten constant und charakteristisch sind, sondern dass dieselben Formen bei allen Arten von Spaltpilzen vorkommen. Sie stützen diese Behauptung wesentlich darauf, dass bei der Behandlung mit gewissen Reagentien (Säuren, Jodtinctur, Alkohol u. s. w.) Bacillen und Spirillen Einschnürungen bekommen und eine Zusammensetzung aus Mikrokokken zeigen, dass ferner in Reinculturen oft der directe Uebergang von Mikrokokken in Bacillen und von Bacillen in Spirillen beobachtet werden kann, sobald man nur verschiedene äussere Bedingungen für die Cultur der Spaltpilze wählt. Was aber die erstgenannte Begründung anlangt, so ist nicht zu bezweifeln, dass die durch gewisse Reagentien erhaltene Gliederung der Bacillen und Spirillen Kunstproduct ist; an lebenden oder an vorsichtig eingetrockneten und gefärbten Spaltpilzen ist niemals etwas von dieser Gliederung zu sehen; ausserdem bilden Kokkenketten keine solche walzenrunde Körper, wie sie den Bacillen eigen sind, und niemals haben die erfahrendsten Mykologen sehen können, dass sich eine Kokkenkette nachträglich zu einem solchen gleichmässig runden Faden umformt.

Zur Würdigung der zweiten Begründung muss man sich vor allem der ausserordentlichen Schwierigkeit einer Reincultur in flüssigen Nährmedien (mit welchen die oben genannten Forscher durchweg operirt haben) bewusst sein. Wenn man eine Reihe solcher Culturen namentlich in verschiedenen Nährlösungen und bei verschiedenen Temperaturen anstellt, so ist es unausbleiblich, dass in einige Gläser Verunreinigungen gelangen, da die Art der Uebertragung niemals volle Garantie gegen fremde Keime liefert. Es kann demnach gar nicht ausbleiben, dass in einigen solcher beabsichtigter Reinculturen andere Pilze zur Entwicklung kommen; und zwar um so leichter, wenn die Bedingungen für die Pilze, welche das Object der Forschung bilden, absichtlich ungünstig, für andere Spaltpilze aber günstig gewählt werden. Da nun diese Fehlerquelle gar nicht weggeläugnet werden kann, so sind offenbar Beobachtungen über eine Aenderung der Form bei völlig rein gezüchteten Pilzen nur in den Händen solcher Forscher von Werth, die mit Reinculturen durchaus vertraut und sich der Fehlerquellen bei denselben stets bewusst sind. Solche Reinculturen wollen aber ganz zweifellos methodisch geübt sein; erst nach längerer Zeit gelingt es erfahrungsgemäss, die Ausführung so zu beherrschen, dass man eine bestimmte Spaltpilzart durch eine lange Reihe von Culturen auf verschiedenen Nährsubstraten hindurch rein erhält; Versuche mit pathogenen oder chromogenen Pilzen, bei deren Culturen eine stete Controle der Reinheit möglich ist, müssen nothwendig die erforderliche Uebung in diesen Methoden verschaffen. Alle die Forscher nun, welche in solcher Weise sich auf Reinculturen eingeschult haben, konnten sich bisher niemals von einer Umwandlung von Mikrokokken in Bacillen und umgekehrt überzeugen. Selbstverständlich haben auch sie beobachtet, dass hier und da in einer Cultur eine andere Form von Spaltpilzen auftrat; ist man sich aber der Schwierigkeit der Reinculturen bewusst, so wird man einen solchen einzelnen Fall zunächst



nur auf Fehler der Ausführung zurückführen. Je mehr man Anfänger in den Methoden der Reincultur ist, um so häufiger treten solche Verunreinigungen auf; ist dem Anfänger dann etwa noch ein Selbstgefühl eigen, das es ihm schwer oder unmöglich erscheinen lässt, dass seine Arbeit etwa mit einem Fehler behaftet sein könnte, so kommt er ohne weiteres zu dem Resultat, dass alle abweichenden Formen nicht zufällige Eindringlinge sondern Entwicklungsstufen des einen gezüchteten Pilzes sind. Lässt man denselben Beobachter dann aber die Methoden der Reincultur immer weiter üben, so werden die neu entstehenden Formen immer seltener, und schliesslich gelingt es, lange Reihen unter variirten Bedingungen zu züchten, bei denen gar keine scheinbare Formenumwandlung mehr stattfindet. Bei Allen, welche anfangen sich mit Pilzculturen zu beschäftigen, lässt sich dieser Wechsel der Erfolge und Anschauungen fast regelmässig beobachten. — Selbstverständlich soll und kann trotzdem nicht die Möglichkeit geläugnet werden, dass demnächst noch manche Formenübergänge bei den Spaltpilzen gefunden werden. Für einige der von ZOPF untersuchten Pilze, namentlich *Beggiatoa* und *Cladotrix*, scheinen auch gewichtigere Gründe und fehlerfreiere Beobachtungen eine Wandelbarkeit der Grundform wahrscheinlich zu machen; aber ein Uebertragen dieses Resultats auf die anderen Spaltpilze ist keinesfalls statthaft und die für die Umwandlung letzterer vorgebrachten Gründe sind durchaus nicht ausreichend, um ein allgemein gültiges Gesetz aufzustellen.

Mit der Anschauung, dass Kokken, Bacterien, Bacillen, Spirillen nur Entwicklungsformen darstellen, die leicht in einander übergehen, würde aber die Aufstellung distincter morphologisch characterisirter Arten immerhin vielleicht doch noch verträglich sein. Wir beobachten ja an den Kokken, Bacillen, Spirillen mancherlei andere Eigenthümlichkeiten der Form, die zur Characterisirung einer Art dienen können; und wenn auf diese Eigenthümlichkeiten das Hauptgewicht gelegt würde, so behielten wir ein auf morphologische Kennzeichen gegründetes System, und könnten eventuell nach der äusseren Form eine Diagnose versuchen, wenn auch derselbe Pilz in einer bestimmten Kokken-Bacterien-Spirillenform vorkäme.

Nach der Ansicht, die namentlich BUCHNER und WERNICH vertreten, ist aber auch eine solche Unterscheidung constanter Formen nicht zulässig; es sollen vielmehr auch die genannten morphologischen Kennzeichen meist lediglich Product der äusseren Lebensbedingungen sein. Die Versuche, welche dies erweisen sollen, sind aber offenbar ebenfalls ohne genügende Beherrschung der Methode der Reincultur ausgeführt worden. KOCH und seine Schüler (zu denen sich auch der Verf. rechnet) haben die leider so spärlichen morphologischen Eigenthümlichkeiten, welche die Milzbrandbacillen und die verschiedensten anderen pathogenen, chromogenen und zymogenen Spaltpilze bieten, in Tausenden von Culturen auf verschiedenstem Nährsubstrat constant gefunden. Die Beobachtungen, welche eine Umformung statuiren, fallen hiergegen gar nicht ins Gewicht; denn die möglichen Fehler der Beobachtung liegen ganz ausschliesslich auf Seiten dieser letzteren Anschauung; und in den enorm zahlreichen Reinculturen, welche KOCH und seine Schüler in zuverlässiger Weise anstellten, hätten nothwendig in vielen Fällen dieselben Formveränderungen



auftreten müssen, wenn diese eben nicht lediglich in methodischen Fehlern ihre Ursache hätten.

Somit sind Modificationen der Form, die von den äusseren Lebensbedingungen beeinflusst werden, für die niederen Pilze nur in ganz beschränktem Grade bekannt; und wir haben einstweilen die oben näher bezeichneten morphologischen Differenzen der einzelnen Arten als constante, diagnostisch verwertbare Attribute derselben anzusehen. In längeren Zeiträumen wird sich allerdings vermuthlich auch eine dritte Art von morphologischen Veränderungen an den niederen Pilzen manifestiren, welche zur Bildung von Varietäten und neuen Arten führt; diese scheinen aber meistens in ähnlich langsamer, für unser Zeitmaass unmerklicher Weise sich zu vollziehen wie bei den höheren Pflanzen. Neuerdings sind einige ganz bestimmte Belege dafür beigebracht, dass sich die Form gewisser Bacterien selbst in Jahrhunderten und Jahrtausenden ausserordentlich wenig ändert. An Dünnschliffen verkieselter Coniferenwurzeln aus der Steinkohlenperiode konnte VAN TIEGHEM <sup>1)</sup> die charakteristischen Formen des Buttersäurebacillus nachweisen; und ZOPF und MILLER <sup>2)</sup> fanden im Weinstein der Zähne ägyptischer Mumien dieselben Formen von Spaltpilzen, die heute als gewöhnliche Bewohner der Mundhöhle nachgewiesen werden können. — Auch diese Beispiele haben aber nur Gültigkeit für die betreffenden Pilzarten, und man darf nicht ohne weiteres daraus ableiten, dass für alle Pilze eine derartig geringe Neigung zum Variiren besteht.

Es ist bereits mehrfach betont, dass bei vielen durch ihre Eigenschaften durchaus verschiedenen Spaltpilzen sich kaum morphologische Merkmale auffinden lassen, welche zur Abtrennung und Characterisirung verschiedener Arten ausreichen. Namentlich bei den Mikrokokken ist uns durch ihre Kleinheit und scheinbare Gleichmässigkeit fast die Möglichkeit einer sicheren Unterscheidung genommen. In diesen Fällen müssen wir versuchen, auffällige und specifische physiologische Eigenschaften als diagnostisches Hilfsmittel und als Eintheilungsprincip zu verwerthen. Die so benutzten Eigenschaften müssen aber selbstverständlich constant und erblich sein; nur dann sind sie zur Aufstellung von Varietäten brauchbar. Eigenschaften, welche durch allerlei äussere Einflüsse leicht umgewandelt, verloren und acquirirt werden können, sind zur Characterisirung von Varietäten so wenig geeignet, wie schwankende

1) Compt. rend. 1879.

2) Arch. f. exper. Pathol. u. Pharmacol. 1882.

Formdifferenzen. Aehnlich wie bei den morphologischen Merkmalen ist es denkbar, dass vielleicht mehrere verschiedene physiologische Eigenschaften auf verschiedenen Entwicklungsstufen ein und derselben Art vorkommen, dass also gewisse Species von Pilzen einen bestimmten *Cyclus* von Eigenschaften, die leicht ineinander übergehen, hervortreten lassen. In dem Falle muss aber die Wandelbarkeit dieser Eigenschaften sich leicht nachweisen lassen, sobald man die Pilzspecies differenten äusseren Einflüssen aussetzt. Zeigt sich die Eigenschaft bei solcher Behandlung im Gegentheil sehr constant, so haben wir es nicht mehr mit Modificationen derselben Art, sondern mit distincten Varietäten zu thun.

Die Beobachtung ergibt nun, dass bei den niederen Pilzen häufig Aenderung im physiologischen Verhalten unter dem Einfluss der äusseren Umstände eintritt. Beispiele für die Inconstanz vieler Stoffwechselproducte sind bereits früher (S. 206) angeführt; ferner ist früher auf die grosse Dehnbarkeit mancher Lebensbedingungen der niederen Pilze hingewiesen. Diese Differenzen lassen vielleicht zuweilen noch eine künstliche Erweiterung zu, indem an manche Lebensbedingungen eine allmähliche Gewöhnung stattfinden kann, so dass die Pilze schliesslich auf einem eigentlich ungeeigneten Nährsubstrat fortkommen. Concentration, Reaction und Temperatur des Nährmediums können in ihren extremeren Graden bei einer plötzlichen Einwirkung auf niedere Pilze schwächend, degenerirend und selbst tödtend wirken; die schädliche Wirkung wird aber unter Umständen ausbleiben, wenn allmähliche Uebergänge geboten und damit die plötzlichen starken Diffusionsströme und Temperaturwirkungen vermieden werden. In welchem Umfange eine Gewöhnung in diesem Sinne möglich ist, darüber sind noch keine zuverlässigen Angaben bekannt. Jedenfalls muss sich aber die so acquirirte Eigenschaft der niederen Pilze, unter nicht ganz normalen Bedingungen fort zu existiren, unter anderen Verhältnissen wieder verlieren, und dieselbe liefert somit nur eine dem Spiel äusserer Zufälligkeiten unterworfenen Modification.

Abgesehen von allen diesen Schwankungen im physiologischen Verhalten, von denen Niemand im Zweifel sein kann, dass es sich dabei stets nur um vorübergehende, nicht hartnäckig für die Art festgehaltene Eigenschaften, und daher nicht um wirkliche Varietäten handelt, giebt es nun aber eine Reihe von Eigenschaften, die durch ihre specifische Beschränkung auf wenige Arten und durch ihre Constanz ausgezeichnet sind. So bemerkt man bei vielen Pilzen, dass sie nur auf ganz bestimmte, charakteristische Lebensbedingungen

angewiesen sind, z. B. auf eine relativ hohe Temperatur, auf einen starken Säuregehalt, oder auf streng neutrale Reaction des Nährmediums u. dergl. Durch solche Eigenschaft kann sich die einzelne Art von allen anderen unterscheiden; und diese Eigenschaft behält dieselbe Art oft hartnäckig bei. — Weit schärfer aber als in den Lebensbedingungen tritt die Specifität und Constanz der niederen Pilze in einigen Lebensäusserungen und Stoffwechselproducten hervor.

Wahrscheinlich, wenn auch noch nicht völlig erwiesen, verhält sich so die Abscheidung bestimmter Fermente und ebenso die Production gewisser Gifte (S. 204). Mit aller Bestimmtheit hat man aber in verschiedenen Farbstoffen specifische und constant unter allen Umständen gebildete Stoffwechselproducte erkannt. Es ist S. 205 darauf hingewiesen, dass jede Aenderung des Farbentons mit Verunreinigung einhergeht und dass die Farbstoffbildung vorhanden ist, so lange der Pilz normal wächst und gedeiht, einerlei auf welchem Nährmedium. Bietet man ihm Bedingungen, die ihn nicht auf die Dauer zu erhalten vermögen, so degenerirt er, entwickelt sich kümmerlich, producirt wenig oder keinen Farbstoff und stirbt ab; bringt man ihn aber, so lange er noch lebensfähig ist, auf besseres Substrat zurück, so tritt mit der Erholung auch die Farbstoffproduction in der früheren Weise wieder ein.

Ausserordentlich constant zeigen sich ferner die specifischen Gährungen. Der Verlauf dieser Gährungen ist im Wesentlichen stets der gleiche; die alkoholische Hefegährung, die Milch- und Buttersäuregährung sind seit längster Zeit unter denselben Erscheinungen bekannt, ja bei der Alkoholgährung kennt man seit Jahrhunderten den zugehörigen sie bewirkenden Organismus. Bezüglich der Buttersäuregährung sowie einiger anderer von FITZ untersuchter Gährungen ist man neuerdings durch Experimente über den Gährungserreger ins Klare gekommen; man hat in diesen Fällen dann auf das bestimmteste beobachten können, dass derselbe Spaltpilz stets die gleichen Gährungen hervorruft, die gährfähigen Stoffe in stets derselben Weise zerlegt; Gährung und Gährproduct sind mit Sicherheit vorauszusagen, wenn man den Gährerreger und das Gährmaterial kennt, einerlei ob letzteres noch durch diesen oder jenen anderen Pilz in völlig anderer Weise zerlegt werden kann und einerlei ob diese oder jene sonstigen Nährstoffe, ob höhere oder niederere Temperatur auf die Gährungserreger einwirken. — Ueber viele Gährungen sind wir noch nicht hinreichend sicher orientirt. Die Gährversuche sind noch viel zu selten mit reinem Material ausgeführt, und doch ist absolut reine Einsaat und reine Züchtung nothwendige



Bedingung zur Feststellung der Constanz der specifischen Gährproducte. Durch weitere Forschungen werden vermuthlich noch erheblich zahlreichere beweisende Beispiele für die Constanz dieser biologischen Eigenthümlichkeit gewonnen werden.

Völlig sichere Resultate haben ferner die Beobachtungen über die krankheitserregenden Pilze geliefert: Bei der ganzen grossen Reihe von Krankheiten, die mit aller Bestimmtheit auf ursächliche Mikroorganismen zurückgeführt werden, hat man bis jetzt für jede Krankheit einen bestimmten, meist auch morphologisch gut characterisirten Pilz gefunden. Diese Pilze sind dann von dem kranken Thier auf die denkbar verschiedensten Nährsubstrate übertragen, auf feste oder flüssige, sogenannte natürliche wie Blutserum, Harn, Kartoffeln, oder künstliche wie Fleischextractlösung, Gelatine; sie sind bei mittlerer Zimmertemperatur und bei Brutwärme gezüchtet, mit oder ohne Sauerstoffzutritt — falls die Züchtung überhaupt gelang und eine Vermehrung der Organismen stattfand, blieben dieselben immer mit denselben Eigenschaften begabt und erzeugten dieselbe Krankheit, selbst nachdem sie Monate lang nur auf künstlichen Nährgemischen gezüchtet waren. Um diese Resultate zu erhalten, muss man allerdings die Methode der Reincultur völlig beherrschen; ohne das sind Verunreinigungen und damit andere Formen, abgeschwächte und schliesslich wirkungslose Pilze unvermeidlich. Diejenigen Forscher aber, welche gezeigt haben, dass sie der Methode der Reincultur völlig mächtig sind, konnten niemals beobachten, dass dabei eine Veränderung an dem gezüchteten Pilze eintritt, dass indifferente Pilze pathogen werden, wenn man sie auf Blut oder anderen dem Thierkörper entnommenen Säften vorzüchtet; und ebenso wenig, dass ein dauernder Verlust der pathogenen Eigenschaften durch die Cultur auf heterogenstem pflanzlichen Nährboden sich einstellt. — Auch die krankheitserregende Eigenschaft der Pilze ist demnach offenbar eine solche, welche nicht durch äussere Umstände bedingt, leicht acquirirt und leicht wieder abgelegt wird, sondern sie haftet für lange Zeit und eine Variation vollzieht sich jedenfalls erst in Perioden, die nach Menschenaltern zählen.

So finden wir bei den Pilzen eine Reihe von physiologischen Eigenthümlichkeiten, die durch ihre grosse Constanz und ihr specifisches Vorkommen sich gut zur Characterisirung einer Varietät oder Art eignen. Ein darauf gegründetes System mag in mancher Beziehung von den botanischen Gepflogenheiten abweichen. Liessen sich in den Verhältnissen der Fortpflanzung und des Wachstums der Spaltpilze durchschlagende Kriterien finden, so würde ja gewiss



das entstehende System besser, natürlicher sein und mehr Anspruch auf Bestand haben. Da nun aber die Kleinheit des Objects derartige Unterscheidungen einstweilen unmöglich macht, müssen wir uns unbedingt nach anderen Merkmalen umsehen; denn wenn bei den niederen Pilzen überhaupt verschiedene Arten vorliegen, bei denen die wichtigsten Eigenschaften sich specifisch und constant erhalten, so ist es für uns von grösster theoretischer wie practischer Bedeutung, diese Arten zu trennen, zu characterisiren und der Diagnose zugänglich zu machen. Soweit es möglich ist, werden wir dabei zunächst Charactere der Fortpflanzung zur Eintheilung benutzen; demnächst werden wir morphologische Kennzeichen, äussere Form, Art der Zusammenlagerung, Gestalt der Colonieen zu verwerthen suchen; wo aber auch diese Merkmale im Stich lassen, erscheint es unbedingt geboten, irgend welche Eigenschaften, die sich als specifisch und constant erweisen, zur Vervollständigung des Systems so lange zu benutzen, bis auch hier feinere morphologische oder Fortpflanzungseigenthümlichkeiten aufgefunden werden. Wir werden sogar in der nächsten Zukunft mit der Aufstellung characteristischer Eigenschaften noch erheblich weiter gehen und auf viel unscheinbarere Eigenschaften, als die der Gährungs- und Krankheitserregung und der Farbstoffproduction recurriren müssen. Eine der wichtigsten Diagnosen eines pathogenen Pilzes — des Tuberkelbacillus — ist bekanntlich neuerdings möglich geworden auf Grund eines eigenthümlichen Verhaltens dieses Pilzes gegenüber gewissen Färbemethoden. Selbst derartig scheinbar nebensächliche Momente, wie das Aufnahmevermögen für Anilinfarben u. dergl. werden wir daher aus practischen Gründen einstweilen mit unter die Kriterien für die Classificirung aufnehmen und wir müssen es einer späteren Zeit und späteren Forschungen überlassen, die morphologischen oder biologischen Eigenthümlichkeiten kennen zu lernen, auf denen das eigenthümliche Verhalten mancher Pilze gegenüber dem Farbstoff beruht.

Neuerdings sind einige interessante Beobachtungen gemacht, wonach die Eigenschaften der Gährungserregung und der Krankheitserregung doch nicht als völlig constant zu betrachten sind. Durch mässiges Erhitzen verlieren einige Pilze, wie erwähnt (S. 207, 256), ganz oder theilweise das Vermögen, Gährung resp. Krankheit zu erregen. Dies scheint auf den ersten Blick dafür zu sprechen, dass die für gewöhnlich in solcher Weise wirksamen Pilze doch wohl keine constanten Varietäten, sondern nur von äusseren Umständen abhängige und in ihren Eigenschaften schwankende Modificationen darstellen. Aber vermuthlich handelt es sich bei den genannten

Abzüchtungsversuchen nur um eine Art Degeneration. Dazu würde allerdings erforderlich sein, dass die Abschwächung sich nicht von Dauer zeigt, sobald die Pilze wieder in günstigere Verhältnisse gebracht sind; und ob dies der Fall ist, kann noch nicht als völlig entschieden angesehen werden. Die neuesten Versuche von Chauveau<sup>1)</sup> sprechen entschieden dafür, dass die Abschwächung eine vorübergehende und daher nur einer zeitweiligen Degeneration vergleichbar ist. Würde es erwiesen, dass sich die künstlich erzielte Abschwächung constant erhält, und dass somit wirklich durch den Einfluss äusserer Umstände eine haltbare harmlose Varietät aus dem virulenten Pilz gezüchtet werden kann, so ist es schwer, eine solche Thatsache mit der doch zweifellos erwiesenen Thatsache der Constanz der fraglichen Eigenschaften gegenüber zahlreichsten anderen äusseren Einflüssen in Einklang zu bringen.

NÄGELI, BUCHNER, GRAWITZ, WERNICH u. A. (Lit. 6—10, 202) lassen auch bezüglich der physiologischen Eigenschaften so wenig eine constante Verschiedenheit der einzelnen Arten von Pilzen gelten, wie hinsichtlich der morphologischen Charactere; sie behaupten vielmehr, dass die Eigenschaften der Gährungserregung, der Krankheitserregung, der Farbstoffproduction u. s. w. in den Entwicklungskreis derselben Art hineingehören und dass der nämliche Pilz je nach den äusseren Umständen leicht die eine oder die andere Eigenschaft erwerben, äussern und wieder verlieren könne. Je länger der Pilz unter den gleichen äusseren Bedingungen gehalten wird, um so energischer soll angeblich die von diesen abhängige Eigenschaft ausgebildet werden; und je länger dann eine solche Anzüchtung bestanden hat, um so schwerer soll eine Umzüchtung in anderem Nährmedium zu anderen Eigenschaften gelingen. Für die Berechtigung dieser Anschauung führte man früher namentlich die Erscheinung der progressiven Virulenz an. DAVAINÉ u. A. wollten beobachtet haben, dass sich die Virulenz eines pathogenen Pilzes immer mehr steigere, je öfter man denselben von einem Thier auf das nächste Versuchsthier überimpfe; während von einer infectiösen, zufällig gefundenen Flüssigkeit zur ersten wirksamen Impfung mehrere Tropfen nöthig waren, sollten bei der fortgesetzten Impfung von Thier zu Thier schliesslich minimalste Bruchtheile eines Tropfens zur Erzeugung der tödtlichen Krankheit genügen. KOCH und GAFFKY (Lit. 27) konnten jedoch neuerdings nachweisen, dass diese progressive Virulenz nicht existirt, dass die anfängliche grössere Dosis nur dann angewendet werden muss, wenn das Impfmateriel sehr unrein ist und nur wenige der pathogenen Organismen enthält; dass dagegen bei reinem Material zu Anfang der Versuchsreihe dieselbe Verdünnung wirksam ist, wie zu Ende derselben.

Fernere Beweise für die Inconstanz der physiologischen Eigenschaften der niederen Pilze suchten die Anhänger dieser Theorie dadurch zu bringen, dass sie zymogene und pathogene Pilze absichtlich unter sehr verschiedene äussere Verhältnisse brachten, um dann die Umzüchtung

1) Compt. rend. 1883. Febr.

und den Uebergang der verschiedenen Eigenschaften womöglich direct zu beobachten. Am bekanntesten und eindrucksvollsten unter den dahin zielenden Experimenten ist die BUCHNER'sche Umzüchtung des Heubacillus in den Milzbrandbacillus und umgekehrt geworden. BUCHNER züchtete zunächst die Milzbrandbacillen viele Generationen hindurch in einer Fleischextract, Pepton und Zucker enthaltenden Nährlösung; nach solcher Behandlung zeigten sie sich bald nur noch in grosser Dosis virulent, erlangten dann aber im Organismus stets ihre volle Virulenz wieder; schliesslich waren sie gar nicht mehr pathogen, sondern wuchsen und verhielten sich ganz wie Heubacillen. KOCH hat aufs überzeugendste nachgewiesen, dass diese vermeintliche Umzüchtung nur in einer Verunreinigung und allmählichen Verdrängung der Milzbrandbacillen durch Heubacillen bestanden haben kann; bei einem allmählichen Verlust der pathogenen Eigenschaften hätte ähnlich wie bei den durch höhere Temperatur abgezüchteten Milzbrandbacillen zunächst eine weniger intensive, nicht mehr tödtliche Krankheit eintreten müssen; in BUCHNER's Versuchen fand nach kleinen Dosen keine Wirkung, nach grösseren volle, tödtliche Wirkung statt; dieser Umstand, sowie die Steigerung der Virulenz nach dem Durchgang durch das Versuchsthier entspricht ganz dem Verhalten verunreinigter, nur wenige infectiöse Pilze enthaltender Nährsubstrate, aus denen dann durch die Cultur im Körper — wie bei den Versuchen über progressive Virulenz — der pathogene Pilz rein gezüchtet und isolirt wird. — Die Umwandlung der Heupilze in Milzbrandbacillen suchte BUCHNER dadurch auszuführen, dass er erstere zunächst in Eiereiweiss mit etwas Fleischextract, dann in frischem Kaninchenblut cultivirte, das mit Luft fortwährend geschüttelt wurde, aber nicht sterilisirt war. Aus solcher Blutcultur wurde dann in Fleischextractlösung weiter gezüchtet; und durch die hier gebildeten Sporen wurde bei Injection grösserer Mengen in einzelnen Fällen eine tödtliche Erkrankung erzielt, die BUCHNER als Milzbrand anspricht. Seit aber nachgewiesen ist, dass unter den sog. Heubacillen sich verschiedene pathogene Pilze befinden, die den Milzbrandbacillen ähnlich sind und ähnliche Krankheiten erzeugen (s. S. 126, 128), und dass auch im Fleischextract und in faulem Blut oft Sporen solcher pathogener Bacillen vorkommen, kann das Experiment BUCHNER's nicht als beweisend angesehen werden; die schliesslich erhaltene Krankheit ist möglicherweise nicht Milzbrand, sondern malignes Oedem oder eine noch andere Krankheit gewesen. Diese Möglichkeit wird zur Wahrscheinlichkeit, wenn man in Betracht zieht, wie ausserordentlich constant sich bisher unter den variabelsten Culturverhältnissen Milzbrandbacillen wie Heubacillen in den Händen derjenigen Forscher gezeigt haben, welche die Methode der Reincultur sicher beherrschen und die Grösse der Fehlerquellen richtig schätzen. — Neuerdings will BUCHNER die Umzüchtung der Milzbrandbacillen zunächst in eine Uebergangsform, dann in echte Heubacillen binnen kürzester Zeit (24 Stunden) dadurch ausgeführt haben, dass er erstere in Nährlösung von Fleischextract, Eigelb und etwas Alkali bei 36° züchtete. Das Eigelb war nicht sterilisirt; die Impfung wurde aus der Milz eines an Milzbrand verendeten Thieres gemacht; damit sind zwei Möglichkeiten für das Eindringen fremder Pilzkeime gegeben; und dass eine solche unbeabsichtigte Verunreinigung wahrscheinlich in der



That stattgefunden hat, dafür sprechen wiederum die völlig abweichenden Resultate der zahlreichen sonstigen Culturversuche mit Milzbrand. Uebrigens sind bereits Versuchsreihen zur directen Nachprüfung der BUCHNER'schen Resultate im Gange.

Auch die sonstigen für eine Umzüchtung der Pilze angeführten Beweise sind nicht einwandfrei. So hat NÄGELI beobachtet, dass man den Pilzen, welche die Milchsäuregährung in der Milch hervorrufen, durch Cultur in zuckerhaltigem Fleischextract das Säuerungsvermögen völlig nehmen könne, so dass sie dann ammoniakalische Zersetzung der Milch bewirken und erst nach 100 und mehr Generationen ihre frühere Eigenschaft wieder erlangen. Wie bei den BUCHNER'schen Experimenten kommt auch hier alles darauf an, ob die Reincultur mit voller Sicherheit gehandhabt ist. Wurden Fehler gemacht, so mussten verunreinigende Pilze, die im Fleischextract besser wachsen als die Milchsäurebakterien, letztere verdrängen, um selbst wieder in der Milch von den hier stärkeren Milchsäurebakterien überwuchert zu werden. So kommt dasselbe Resultat heraus gerade wenn fremde unbeabsichtigte Keime sich einschleichen; während bei vorsichtig, unter steter Controle angestellten Versuchen bisher niemals etwas von einer solchen Aenderung der Eigenschaften beobachtet werden konnte.

Den vereinzelt und angreifbaren Versuchen BUCHNER's und NÄGELI's stehen die unzähligen Resultate derer gegenüber, welche bei Reinculturen auf denkbar verschiedenstem Substrat die Krankheitserregung, die Gährungserregung, die Farbstoffbildung zahlreicher niederer Pilze stets die gleiche bleiben sahen. Gestützt auf diese überwiegende Masse von gesicherten Thatsachen, und in der Einsicht, dass die Umzüchtungsversuche nur in grösserer Zahl und mit voller Beherrschung der Methode der Reincultur ausgeführt, Werth und beweisende Kraft haben, muss man einstweilen an dem Satze festhalten, dass die niederen Pilze durch constante, nur sehr langsam variirende morphologische und physiologische Eigenthümlichkeiten ausgezeichnet sind, welche eine Unterscheidung distincter Arten und Varietäten gestatten.

---

## VIERTER ABSCHNITT.

### Methoden zur Untersuchung der Mikroorganismen.

Die Methoden zur Untersuchung der niederen Pilze sind so eigenartig und ragen dabei so vielfach in die wichtigsten theoretischen und practischen Fragen dieses Gebietes hinein, dass sie auch hier eine kurze Schilderung erfahren sollen, wenngleich bezüglich der näheren Details auf die speciellen Handbücher der Methoden und auf die einschlägigen Originalarbeiten verwiesen werden muss.



Bei der Untersuchung von niederen Pilzen kann es sich zunächst um einfache mikroskopische Beobachtung handeln; zweitens um die Herstellung künstlicher Culturen und die Isolirung der interessirenden Pilze durch solche Culturen; hieran schliesst sich dann noch die weitere Prüfung der gezüchteten Pilze auf ihre wichtigeren biologischen Eigenschaften.

### Die mikroskopische Untersuchung der niederen Pilze.

Die verschiedensten Objecte, Flüssigkeiten und festere Substanzen, Nahrungsmittel, Staub, Erdproben, pflanzliche und thierische Organe und Säfte, vom lebenden oder todten Thier genommen, angesiedelte Pilzcolonieen u. s. w. können zur mikroskopischen Untersuchung gelangen. Dabei hat man zunächst sich bewusst zu sein, dass in unserer ganzen Umgebung sich niedere Pilze befinden, und dass, um den Nachweis von Pilzen in einem dieser Objecte zu führen, das zufällige Hineingelangen von Pilzen aus unsrer Umgebung in das Präparat vermieden werden muss. Alle Instrumente, Gläser, Zusatzflüssigkeiten müssen daher pilzrein sein, was bei ersteren am besten durch kurzes Erhitzen auf mindestens  $150^{\circ}$  oder in manchen Fällen durch Einlegen in Sublimatlösung (1 : 2000) erreicht wird.

Soll auf pathogene Pilze geprüft werden, so muss man sich bewusst sein, dass auf den Oberflächen des gesunden lebenden Thiers stets massenhaft Pilze wuchern; auf der Haut, in der Mundhöhle u. s. w. findet man die zahlreichsten Keime. Nach dem Tode tritt eine rasche Verbreitung derselben zunächst in alle oberflächlich zugänglichen Körpertheile ein. Proben zur Untersuchung auf pathogene Pilze sind daher selbst beim Lebenden niemals von der ungereinigten Oberfläche zu nehmen; und nach dem Tode ist stets wo möglich das Innere der Organe durch frische Schnitte mit geglühtem Messer frei zu legen.

Die directe mikroskopische Beobachtung (eventuell unter Zusatz von  $\frac{1}{2}\%$  Kochsalzlösung, Mischung von Glycerin und Wasser, Lösung von essigsauerm Kali 1 : 10) ohne weitere Hilfsmittel führt nur bei grösseren Pilzen zum Ziele, während kleinere Spaltpilze selbst mit den stärksten Vergrösserungen nicht wahrgenommen werden können, namentlich wenn andre Objecte (Zellen, Kerne und Kerndetritus, Krystalle und amorphe anorganische Massen) im Präparat zugegen sind. Fast in allen Fällen, wo es auf genaue Durchmusterung eines Präparates ankommt, ist daher eine Färbung der Mikroorganismen auszuführen. Letztere nehmen gewisse Farbstoffe mit ausserordentlicher Energie auf, und es gelingt meistens die Fär-

bung so zu leiten, dass nur die Mikroorganismen gefärbt oder wenigstens nur diese stark gefärbt sind, während alle übrigen Objecte des Präparates schwach oder gar nicht tingirt sind. Namentlich wo die Abwesenheit von Spaltpilzen in einer Substanz constatirt werden soll, ist lediglich mit Zuhülfenahme der Färbemethode eine sichere Entscheidung möglich. — Die Behandlung der Präparate zum Zweck der Tinction ist verschieden, je nachdem Flüssigkeiten oder thierische Organe vorliegen.

Flüssigkeiten<sup>1)</sup> werden zunächst in dünnster Schicht auf dem Deckglas angetrocknet, dadurch, dass mit kurz vorher geglühtem Platindraht ein kleiner Tropfen auf das Deckglas gebracht und durch einige kreisförmige Bewegungen ausgebreitet wird; oder noch zweckmässiger legt man auf das betroffene Deckglas ein zweites, so dass der Tropfen breit gedrückt wird und die Flüssigkeitsschicht sich bis zum Rande der Deckgläserchen erstreckt; dann zieht man die Gläserchen seitlich von einander und erhält so zwei dünn bestrichene Flächen; nach wenigen Minuten ist dann die Schicht angetrocknet. Wollte man das Deckglas jetzt unmittelbar mit Farblösung in Berührung bringen, so würde die Schicht wieder abgelöst und fortgeschwemmt werden; die Pilze müssen daher wo möglich erst auf dem Glase fixirt werden. Dies geschieht entweder durch längeres Einlegen der Gläserchen in absoluten Alkohol oder durch kurzes Erhitzen auf 110—130° (2—10 Minuten; der richtige Grad der Erhitzung liegt für verschiedene Objecte etwas verschieden und muss durch einige Versuche ermittelt werden). Das Erhitzen kann meistens auch schon dadurch in ausreichender Weise ausgeführt werden, dass man die Deckgläserchen 2—3 mal langsam („etwa so rasch wie man Brot schneidet“) durch die Flamme eines Bunsenbrenners oder eine Spiritusflamme zieht. Die Pilze haften nach dieser Behandlung so fest an den Gläsern, dass diese ohne Schaden lange Zeit in wässrigen Flüssigkeiten gehalten werden können.

Auf die so präparirten Deckgläserchen wird dann die unten zu erwähnende Farblösung getropft; meist genügt es, wenn man die Lösung 5—15 Minuten einwirken lässt; ist eine längere Einwirkung nöthig, so ist es zweckmässig, die Deckgläserchen auf einem flachen Schälchen mit Farblösung schwimmen zu lassen. Das Deckgläserchen wird dann mit der Pincette gefasst, von der Farblösung durch Absaugen mit Filtrirpapier befreit, dann in destillirtem Wasser, zuweilen auch in sehr verdünnter Essigsäure (etwa 5—10 Tropfen auf

1) Für die folgenden Methoden vergl. man R. KOCH (Lit. 342) und WEIGERT (Lit. 343).

100 Cctm. Wasser), gespült, und nun entweder mit Wasser auf den Objectträger gebracht, oder erst nochmals getrocknet und dann in Nelkenöl oder Canadabalsam eingelegt.

Organe müssen zunächst längere Zeit (mehrere Tage) in absolutem Alkohol gehärtet werden; sie müssen dabei allseitig von diesem umgeben und eventuell zerkleinert sein. Sodann stellt man, wo möglich mit dem Mikrotom, eine grössere Anzahl feiner Schnitte her, bringt diese zunächst in absoluten Alkohol und von da in die Farblösung. In letzterer bleiben die Schnitte  $\frac{1}{2}$ —5 Stunden, in einzelnen Fällen sogar 24 Stunden. Durch Erwärmen auf 30—35° kann diese Zeit erheblich abgekürzt werden. Nimmt man die Schnitte aus der Farbe, so ist das ganze Gewebe stark gefärbt; man sucht dann eine Differenzirung der Pilze gegenüber dem Gewebe dadurch zu bewirken, dass man die Schnitte in Alkohol oder verdünnte Essigsäure bringt, die den Zellen den Farbstoff wieder entziehen und nur Pilze und höchstens noch Zellkerne (ausserdem gewisse Mucinarten, die verhornten Gebilde, zuweilen Fett, Nervenmark) gefärbt erscheinen lassen. In den meisten Fällen wird die Entfärbung des Gewebes am zweckmässigsten dadurch bewirkt, dass man die Schnitte in Alkohol bringt, hier etwa 15—30 Minuten lässt, dann in Nelkenöl überträgt, aus diesem nochmals in reinen Alkohol und dann wieder in Nelkenöl bringt. Zuweilen ist es gut, vor dem Alkohol verdünnte Essigsäure einzuschalten. Im Nelkenöl können die Schnitte direct untersucht werden; oder man bringt sie von da auf den Objectträger, tupft das Oel sorgfältig mit Fliesspapier ab und legt dann in Balsam ein. Einige Farbstoffe halten sich nicht, wenn Nelkenöl angewandt wird; hier fügt man nach dem Alkohol oder nach kurzem Aufenthalt im Nelkenöl Bergamottöl oder Xylol ein. — Steht ein Gefriermikrotom zur Verfügung, so kann das frische Organ sofort nach dem Gefrieren geschnitten werden; die Schnitte bringt man zunächst in Kochsalzlösung, von da vorsichtig in absoluten Alkohol und behandelt sie dann weiter wie oben.

Als Farbstoffe verwendet man nur selten Carmin oder Hämatoxylin, sondern hauptsächlich Anilinfarben, zu denen die niederen Pilze die grösste Verwandtschaft zeigen.

Man unterscheidet nach EHRLICH <sup>1)</sup> 2 grosse Gruppen von Anilinfarben, die durch chemische und histologische Eigenthümlichkeiten scharf geschieden sind, die sauren und die basischen Farbstoffe.

1) WESTPHAL, Ueber Mastzellen, Inaug.-Diss. Berlin 1880. — SCHWARZE, Ueber eosinophile Zellen, Inaug.-Diss. ibid. 1880. — SPILLING, Ueber Blutuntersuchungen bei Leukämie, Inaug.-Diss. ibid. 1880. — Vgl. auch WEIGERT, Virchow's Arch. Bd. 84.

Zu den saueren rechnet man alle solche Farbstoffe, bei welchen das färbende Princip die Säure ist; der Farbstoff braucht darum nicht eine freie Säure zu sein oder sauer zu reagiren, sondern kann z. B. mit Basen salzartige Verbindungen bilden (wie pikrinsaures Ammon). Man unterscheidet 4 Klassen von saueren Farbstoffen, nämlich 1. Fluorescein; dahin gehören Fluorescein, Pyrosin, Eosin (Tetrabromfluorescein) u. a. m. 2. Nitrokörper; z. B. Martiusgelb (Salz des Binitronaphthols), Pikrinsäure, Aurantia (Ammonsalz des Hexanitrodiphenylamins). 3. Sulfosäuren; z. B. Tropäolin, Bordeaux, Ponceau; Derivate des in Spiritus löslichen Anilinblau; Anilinschwarz u. s. w. 4. Primäre Farbsäuren; z. B. Rosolsäure; Alizarin, Nitroalizarin, Purpurin; Cörulein, vielleicht Hämatoxylin u. s. w.

Zu den Farbbasen gehören: Fuchsin (Rosanilin), Methylviolett, Methylgrün (beides Methylderivate des Rosanilins, letzteres gewöhnlich mit Methylviolett verunreinigt), Triphenylrosanilin (rohes Anilinblau) und dessen Derivate, Cyanin, Safranin, Magdala, ferner die besonders viel zur Bacterienfärbung gebrauchten Bismarckbraun, Dahlia, Gentianaviolett.

Die basischen Farbstoffe kommen gewöhnlich nicht als freie Basen im Handel vor, sondern als Salze; so das Fuchsin als salzsaures oder essigsaures Rosanilin.

Für die Färbung der Spaltpilze eignen sich fast ausschliesslich die basischen Farbstoffe; nur diese vermögen auch die Kerne zu färben. Um nicht eine diffuse Färbung des ganzen Gewebes zu bekommen, muss man nach der Tinction die Präparate noch mit solchen Lösungen behandeln, die zu den Farbstoffen eine grössere Verwandtschaft haben, als die Gewebe, aber eine geringere als die Spaltpilze (und Zellkerne); derartige Lösungen sind eben Alkohol und verdünnte Essigsäure.

Manche Spaltpilze zeigen nur zu wenigen Farbstoffen starke Verwandtschaft; es sind daher bei der Aufsuchung noch unbekannter Mikroorganismen die verschiedensten Farbstoffe, bald unter Zusatz von etwas Essigsäure, bald in schwach alkalischer Lösung durchzuprobiren. — Für die meisten Mikrokokken ist jedes Kernfärbemittel (Carmin, Hämatoxylin, basische Anilinfarben) geeignet. Sie färben sich roth mit den kernfärbenden Carminsorten; mit Purpurin, Fuchsin, Magdala, Magentaroth; braun mit Bismarckbraun, Vesuvin; grün: Methylgrün; blau oder violett: Hämatoxylin, Methylenblau, Jodviolett, Methylviolett, Dahlia, Gentiana. Für manche Bacillen eignen sich nur die kernfärbenden Anilinfarben. — Die meiste Verwendung verdienen: Methylenblau (für ausgestrichene Trockenpräparate); Gentianaviolett BR<sup>1)</sup>; letzteres in etwa 1% iger wässriger Lösung. Methyl-, Jod-, Gentianaviolett und Dahlia zeigen in beson-

1) Nach dem Catalog der Berliner Actiengesellsch. für Anilinfabrication. Berlin SO.



derem Grade die Eigenschaft der metachromatischen Färbung, d. h. sie färben verschiedene Elemente mit einer von der Grundfarbe abweichenden Nuance, röthlich bis roth u. s. w. Das gewöhnlich mit Methylviolett verunreinigte Methylgrün giebt oft blaue und zuweilen rosa Nuancirungen.

Zur besseren Differenzirung zwischen Kernen und Spaltpilzen ist zuweilen die Doppelfärbung mit Pikrocarmin und Gentiana geeignet, die darauf beruht, dass Carmin den violetten Farbenton aus den Kernen zu vertreiben vermag, aber nicht aus Bacillen. Die Schnitte werden dann erst in Gentianalösung gebracht, dann in Alkohol, dann zur Entfernung des Alkohols auf einen Moment in Wasser, darauf in WEIGERT'sche Pikrocarminlösung <sup>1)</sup>. Nach  $\frac{1}{2}$ - bis 1 stündigem Verweilen werden sie in Wasser, Alkohol, Nelkenöl, Balsam, gebracht. Die Zellkerne erscheinen dann roth, die Bacillen blau gefärbt. — Actinomycesdrusen lassen sich durch Behandlung mit WEDL'scher Orseille (Virch. Arch. Bd. 74) und dann mit Gentiana roth-blau färben.

Tuberkelbacillen werden am besten nach folgender Methode gefärbt: Anilinöl und Wasser werden kräftig geschüttelt, dann durch angefeuchtetes Filter filtrirt; in die filtrirte Lösung tropft man vorsichtig concentrirte alkoholische Fuchsin- oder Gentianalösung, und zwar so lange bis eine leichte wolkige Trübung erscheint, die sich später wieder verliert (auf 10 Cctm. Anilinwasser sind etwa 10 bis 20 Tropfen Farblösung erforderlich). Die mit Sputum nach der oben gegebenen Vorschrift bestrichenen und erhitzten Deckgläser lässt man auf dieser Farblösung 12—24 Stunden schwimmen oder, wenn man gleichzeitig auf 30 bis 35° erwärmt, nur 1—2 Stunden; Schnitte legt man ca. 24 Stunden ein und erwärmt schliesslich noch 1—2 Stunden. Deckgläser und Schnitte werden dann zunächst in saurem Alkohol gespült (100 Cctm. Alkohol, 20 Cctm. Wasser, 20 Tropfen concentrirte Salzsäure); nach kurzer Zeit ( $\frac{1}{2}$ —2 Minuten) ist bis auf etwaige dickere Stellen des Präparats die rothe, resp. violette Farbe aus-

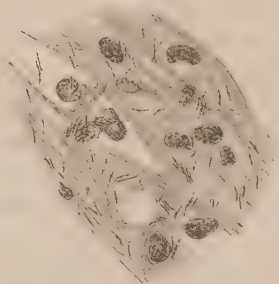


Fig. 65  
Sputum mit Tuberkelbacillen <sup>603</sup>/<sub>1</sub>.

1) Fertigt zu beziehen von Dr. GRÜBLER in Leipzig.

gezogen. Man spült nun in Wasser sorgfältig ab, lässt die Deckgläser trocknen und betropft dieselben mit verdünnter wässriger Methylenblaulösung, wenn man Fuchsin, mit Vesuvinslösung, wenn man Gentiana benutzt hatte. Nach 5—15 Minuten spült man in Wasser ab, trocknet und legt in Balsam. Die Schnitte bringt man auf  $\frac{1}{2}$  Stunde in die Methylenblau- resp. Vesuvinslösung und behandelt sie dann wie gewöhnlich; sollen die Präparate conservirt werden, so benutzt man kein Nelkenöl, sondern nur Bergamottöl. — Man erhält so Bilder, in welchen die Tuberkelbacillen roth oder violett, Zellkerne und Zellen blau resp. braun gefärbt sind. Von anderen Spaltpilzen, welche die gleiche Färbung zeigen, sind bisher nur die Leprabacillen bekannt. Ausserdem färben sich noch einige sonstige Objecte, so die Epidermoidalgebilde, sowie einige im Sputum vorkommende noch nicht näher definirbare anorganische und organische Massen, die aber zu keiner Verwechslung Anlass geben können. — Die reinen Farbstofflösungen sowie die Mischung von Anilin und Wasser können längere Zeit aufbewahrt werden; die letztere muss aber stets zum Gebrauch von neuem filtrirt und die Mischung mit der Farblösung muss stets frisch bereitet werden.<sup>1)</sup>

Zum Conserviren der Präparate kann man Canadabalsam, Dammarlack, concentrirte Lösung von essigsauerm Kali oder Glycerin verwenden, letzteres nur für die mit glycerinhaltiger Lösung von Anilinbraun gefärbten Präparate. — Für das Einlegen von Schimmel- und Hefepilzen eignet sich am besten Glyceringelatine (1 Th. Gelatine, 6 Th. Wasser, 7 Th. Glycerin, 1 % Carbolsäure zusammen erwärmt und filtrirt).

Zur Untersuchung der Präparate sind nur die besten Mikroskope geeignet. Für die grösseren Spaltpilzformen (Milzbrandbacillen u. s. w.) sind Trockensysteme ausreichend; für alle feineren Formen bedarf man der besten Oel-Immersionen.<sup>2)</sup> Um die gefärbten Bacterien im Gewebe erkennen zu können, ist ausserdem noch eine

1) Die oben beschriebene, von EHRLICH angegebene Modification des KOCH'schen Verfahrens zur Färbung der Tuberkelbacillen ist die zuverlässigste. Alle anderen bisher veröffentlichten Modificationen geben weniger sichere Resultate. Vgl. BAUMGARTEN, ZIEHL u. A. in BOERNER's Deutsch. med. Wochenschrift 1882/83.

2) Oelimmersionen und Beleuchtungsapparate werden in vorzüglicher Ausführung geliefert von ZEISS in Jena, HARTNACK in Potsdam, SEIBERT & KRAFT in Wetzlar, R. WINKEL in Göttingen. Die WINKEL'schen Systeme sind billiger als die der übrigen Firmen und, da ihre Leistungsfähigkeit die gleiche ist, besonders preiswürdig. — Gefärbte mikroskopische Präparate von Spaltpilzen (nam. pathogenen) sind zu beziehen von TH. FISCHER's medicinischer Buchhandlung, Berlin NW., Dorotheenstr. 8.

besondere Beleuchtung erforderlich. Am vortheilhaftesten würde es selbstverständlich sein, wenn man ein reines Farbenbild vor Augen bekäme, d. h. wenn Canadabalsam und Gewebe von ganz gleichem Brechungsvermögen und in Folge dessen von dem Gewebe gar nichts, die Bacterien aber nur vermöge ihrer Färbung zu sehen wären. Nun differiren aber für gewöhnlich die verschiedenen Theile des Gewebes in ihrem Lichtbrechungsvermögen vom Canadabalsam und erzeugen durch Diffraction der durchgehenden Lichtstrahlen ein aus Linien und Schatten bestehendes Structurbild, welches das Farbenbild verdeckt. Es muss demnach wo möglich angestrebt werden, die Diffractionerscheinungen und das Structurbild möglichst zum Verschwinden zu bringen; und dies ist möglich durch Anwendung eines passenden Beleuchtungsapparats.

Betrachtet man ein mikroskopisches Präparat bei einer Beleuchtung mit zuerst schmalem und dann immer breiter werdendem, aber immer gleich langem, Lichtkegel, so verschwinden die Diffractionerscheinungen und das Structurbild, welche bei engster Blende am intensivsten waren, allmählich immer mehr; und in demselben Maasse, in dem das Structurbild abnimmt, wird das Farbenbild intensiver und schärfer. Es muss daher wo möglich ein Beleuchtungskegel von so grosser Oeffnung zur Beleuchtung verwandt werden, dass die Diffractionerscheinungen gänzlich zum Verschwinden gebracht werden. Ein Instrument, welches diesen Zweck vollständig erreicht, hat KOCH in dem von ABBE angegebenen und von ZEISS angefertigten Beleuchtungsapparat gefunden. Derselbe besteht aus einer Linsencombination, deren Brennpunkt nur einige Millimeter von der Frontlinse entfernt ist. Wenn die combinirte Beleuchtungslinse also in der Oeffnung des Mikroskoptisches und zwar ein wenig tiefer als die Tischebene sich befindet, dann fällt der Brennpunkt mit dem zu beobachtenden Object zusammen und letzteres erhält in dieser Stellung die günstigste Beleuchtung. Der Oeffnungswinkel der ausfahrenden Strahlen ist so gross, dass die äussersten derselben in einer Wasserschicht fast  $16^0$  gegen die Axe geneigt sind, der gesammte wirksame Lichtkegel demnach eine Oeffnung von  $120^0$ , also eine grössere Oeffnung als irgend ein anderer Condensor besitzt. Die Lichtstrahlen werden dem Linsensystem durch einen Spiegel, der nur um einen festen Punkt in der Axe des Mikroskops drehbar ist, zugeführt. Zwischen Spiegel und Linse, nahe dem Brennpunkte des ersteren, befindet sich ein Träger für Blenden, die ausserdem seitlich und kreisförmig beweglich sind, so dass der beleuchtende Strahlenkegel in jeder beliebigen Weise verändert werden kann. Durch mehr oder weniger grosse Blendenöffnung wird auch die Oeffnung des Strahlenkegels von der kleinsten bis zur grössten mit der Beleuchtungslinie überhaupt zu erzielenden modificirt. Seitliche Verschiebung der Blendenöffnung giebt ohne Bewegung des Spiegels schiefe Beleuchtung und mit Hülfe einer centralen Abblendung kann der mittlere Theil des Kegels ausgeschaltet werden.

Die beste Darstellung der unter dem Mikroskop beobachteten



Bilder liefert die Photographie. Die in der oben beschriebenen Weise am Deckglas angetrockneten Präparate gestatten dabei die Anwendung der stärksten Immersionssysteme. Die Färbung der Spaltpilze geschieht am zweckmässigsten mit Braun. Das Photographiren bietet noch besondere Vortheile, weil die photographische Platte überhaupt das mikroskopische Bild besser oder vielmehr sicherer wiedergiebt, als es die Netzhaut des Auges zu empfinden vermag.

Die lichtempfindliche Platte ist gewissermaassen ein Auge, welches nicht durch helles Licht geblendet wird, welches nicht bei der anhaltenden Unterscheidung der geringsten Lichtunterschiede ermüdet und das nicht durch Glaskörpertrübungen oder andere Fehler behindert wird. Oft findet man auf dem Negativ, wenn das Bild nur scharf eingestellt gewesen war, feine Objecte, z. B. feinste Geisselfäden, welche man nachträglich nur mit äusserster Mühe und unter den günstigsten Beleuchtungsverhältnissen im Mikroskop erblicken kann.

Ueber die Ausführung siehe die unten citirten Lehrbücher der Mikrophotographie.<sup>1)</sup>

Eine Verwechslung von Spaltpilzen, namentlich von Mikrokokken ist möglich mit Kerndetritus, der aber ungleich grosse und nicht regelmässig gruppirte Körnchen zeigt; ferner findet man zuweilen kleine Tröpfchen oder Kügelchen, die sich mit kernfärbenden Mitteln tingiren und deren Zugehörigkeit noch zweifelhaft ist. Namentlich leicht ist aber eine Verwechslung möglich mit den EHRlich'schen Mastzellen (Plasmazellen, granulirte Zellen), die sich ausserordentlich verbreitet finden und bei den verschiedensten pathologischen Processen an Zahl erheblich zunehmen. Die gleichmässig runden Körnchen dieser Zellen werden meist ebenso oder in ganz ähnlicher Nuance wie die Spaltpilze gefärbt; eine Unterscheidung zwischen beiden ist oft nur durch die Lagerungsverhältnisse und namentlich dadurch möglich, dass eben bei den Mastzellen die tingirten Körnchen stets zu zellenähnlichen Gebilden gruppirt sind. — Handelt es sich darum, jede Verwechslung mit thierischen Gewebstheilen auszuschliessen, so kann noch ein besonderes Verfahren zur Anwendung gelangen. Werden nämlich nach der Anilinfärbung die Schnitte anstatt mit Essigsäure oder Alkohol mit einer schwachen Lösung von kohlen saurem Kali behandelt, dann verlieren auch die

1) GERLACH, Die Photographie als Hülfsmittel mikroskopischer Forschung. Leipzig 1863. — BENEKE, Die Photographie als Hülfsmittel u. s. w. Braunschweig 1868. — REICHARDT u. STÜRENBURG, Lehrbuch der mikroskopischen Photographie. Leipzig 1868. — VOGEL, Lehrbuch der Photographie. Berlin 1874. Vgl. die vorzüglichen Photogramme von R. KOCH, in Cohn's Beitr. Bd. 2 und in den Mittheilungen a. d. Kais. Gesundheits-Amt Bd. 1.



Kerne und Plasmazellen, überhaupt alles thierische Gewebe, den Farbstoff wieder und die Spaltpilze bleiben ganz allein gefärbt. (Koch.)

### Die künstliche Cultur der niederen Pilze.

Zum näheren Studium der Eigenschaften aufgefundenener Mikroorganismen ist deren künstliche Züchtung durchaus erforderlich.

Dieselbe kann zunächst in kleinem Maassstabe unter dem Mikroskop vorgenommen werden, wobei es dann wesentlich auf die Beobachtung der morphologischen Veränderungen ankommt, die der betreffende Pilz bei seinem Wachsthum und seiner Entwicklung durchläuft.

Die einfachste Art der mikroskopischen Cultur besteht darin, dass man einen Tropfen Nährlösung und eine Probe aus dem pilzhaltigen Medium auf ein Deckglas bringt und dieses mit dem Tropfen nach unten auf einen hohlen Objectträger legt. Der Rand des Deckglases lässt sich noch mit Wachs oder dgl. verkitten. Auf heizbarem Objecttisch kann man dann die Entwicklung der ausgesäten Pilze selbst mit starken Vergrösserungen beobachten. Koch gelang es z. B. in dieser Weise, die Entwicklung der Fäden und Sporen von *Bac. anthracis* aufs deutlichste zur Anschauung zu bekommen. — Für die Entwicklung mancher Pilze ist eine Zufuhr von Luft nothwendig, die bei der beschriebenen Vorrichtung nicht stattfinden kann. PRAZMOWSKI<sup>1)</sup> hat für diesen Fall die Einrichtung getroffen, dass eine kleine Rinne von der feuchten Kammer ins Freie führt, die nicht durch das Wachs verschlossen wird. — Eine lange Beobachtungsdauer gestatten diese feuchten Kammern nicht, weil der Verschluss mangelhaft ist und nach einigen Tagen sich Verunreinigungen, namentlich durch Schimmelpilze bemerklich machen.

Vollkommenere Vorrichtungen repräsentiren die Glaskammern von v. RECKLINGHAUSEN und von BREFELD.<sup>2)</sup> Die letzteren, die speciell für die Cultur von Pilzen und für die Beobachtung mit den stärksten Systemen construirt sind, bestehen aus einem engen Glasrohr das in der Mitte zu einer oben und unten, bis fast zur Berührung der Pole zusammengedrückten Kugel erweitert ist. Die Wandungen der Kammer haben nur Deckglasdicke und sind so flach, dass innen ein gleichmässig dünner Ueberzug von Flüssigkeiten aufs leichteste hergestellt werden kann. In solche vollkommen gereinigte und mit Aether und dann mit kochendem Wasser von anhaftendem

1) Lit. 62.

2) Unters. über Schimmelpilze. H. 4. S. 18.

Fett u. s. w. befreiten Glaskammern wird dann die mit dem zu untersuchenden Pilz beschickte Nährlösung so eingesogen, dass sie die Innenwand der Kammer nur schwach überzieht, und dass auf der glatten, gleichmässig dünnen Fläche die Fixirung eines Keimes mit starken Systemen tagelang ohne Störung möglich ist.

In den meisten Fällen bedarf es grösserer Culturen der interessirenden Pilze. — Als Gefässe für diese benutzt man am häufigsten Reagensgläser, die durch einen festen und langen Wattepfropfen gegen das zufällige Eindringen fremder Keime geschützt werden. BUCHNER empfiehlt besonders sogenannte Saftgläser, die etwa 5 Ctm. Durchmesser und oben einen verjüngten Hals haben, der mit Wattepfropfen versehen und dann noch (um die Ansammlung von Staub zu hindern) mit Zeug überbunden wird. Sollen Gährversuche angestellt werden, so sind geräumige Kochkolben (bis zu mehreren Liter Inhalt) anzuwenden. Für manche Fälle sind kleine flache Glasschälchen mit 1 Ctm. hohen senkrechten Wandungen (sog. Krystallisations-schälchen von 4 Ctm. Durchmesser) besonders geeignet; dieselben werden in cylinderförmigen Bechergläsern von 4½ Ctm. Weite und 15—20 Ctm. Höhe aufbewahrt, in welchen sie mittelst eines gebogenen Messingstreifens leicht auf- und niedergelassen werden können; die Cylinder sind dann in üblicher Weise mit Wattepfropfen verschlossen. Zuweilen endlich bedient man sich nur einer grösseren Zahl von Objectträgern, die auf einem kleinen Gestell von Glas oder Metall zu 6—12 über- und nebeneinander gelagert sind und zusammen auf einem Teller unter einer feucht gehaltenen Glasglocke ruhen. Diese Objectträger werden mit gewissen unten zu beschreibenden festen Nährsubstraten beschickt, die keine völlig pilzdichte Aufbewahrung erfordern.

Sehr wichtig ist die Zusammensetzung der Nährlösung. Dieselbe muss, entsprechend dem oben über die Lebensbedingungen der niederen Pilze Gesagten, vor allem die nöthigen Nährstoffe, C-haltige, N-haltige Stoffe und Mineralsubstanzen enthalten; dabei hängt die Güte der Nährlösung ab von der Nährtüchtigkeit der gewährten Stoffe, ferner davon, ob ihre vorhandene Menge sich dem Concentrationsoptimum möglichst nähert, ob die Reaction dem betreffenden Pilze zusagt, ob und in welcher Menge Sauerstoff zugegen ist u. s. w. Will man Schimmelpilze züchten und gegen ein Eindringen von Spaltpilzen schützen, so ist vor allem der Wassergehalt gering, das Substrat also fest und die Reaction stark sauer zu wählen; für Sprosspilze bieten Flüssigkeiten mit nicht so stark aber doch noch energisch saurer Reaction und reichlichem Zuckergehalt die günstigsten Be-

dingungen; für Spaltpilze sind neutrale, nicht zu concentrirte Flüssigkeiten am geeignetsten.

Als natürliche Nährsubstrate wählt man für Schimmelpilze Decocte von getrockneten Pflaumen und Rosinen; Decocte von frischem Mist von Pflanzenfressern; Abkochung von Hefe mit starkem Zuckerzusatz; ausgestrichenen Mist von Pflanzenfressern; Scheiben von ungesäuertem Brot, das noch mit verschiedenen Decocten gedüngt wird u. s. w. Die Ansäuerung der Substrate, wenn diese noch nicht hinreichend sauer reagiren, erfolgt mit Weinsäure (je nach der Concentration der Nährlösung 2—5%) oder Phosphorsäure ( $\frac{1}{2}$ —1%). — Für Sprosspilze wählt man Malzdecoct, Bierwürze, Most oder eines der oben genannten Decocte mit Traubenzuckerlösung versetzt; für Spaltpilze Harn, Heuinfus, Fleischinfus u. dgl., setzt eventuell Asche von Hefe, Cigarren u. dgl. zu und sucht möglichst neutrale oder höchstens ganz schwach saure oder alkalische Reaction herzustellen.

Als rein künstliche Nährlösungen empfahl früher PASTEUR: 100 Theile Wasser, 10 Theile Candiszucker, 1 Theil weinsaures Ammon und Asche von 1 Theil Hefe, deren Gewicht etwa 0,075 der Mischung beträgt. BUCHOLTZ ersetzte in derselben Lösung die Hefasche durch 0,5 Grm. phosphorsaures Kali; COHN wählte folgende Zusammensetzung: 0,1 Grm. phosphorsaures Kali, 0,1 Grm. krystallisirte schwefelsaure Magnesia, 0,01 Grm. dreibasisch phosphorsaurer Kalk, 20 Grm. destillirtes Wasser, 0,2 Grm. weinsaures Ammon. — Alle diese und ähnliche Nährlösungen litten an verschiedenen neuerdings von NÄGELI aufgedeckten Fehlern. NÄGELI empfiehlt auf Grund seiner zahlreichen Experimente über den Ernährungsmechanismus der niederen Pilze folgende Lösungen als Normalflüssigkeiten für Spaltpilze (aus denen durch Zusatz von Zucker und Säure leicht solche für Schimmel- und Sprosspilze hergestellt werden können):

1) Wasser 100 Cctm., weinsaures Ammon 1 Grm., Dikaliumphosphat  $K_2HPO_4$  0,1 Grm., Magnesiumsulfat  $MgSO_4$  0,02 Grm., Calciumchlorid  $CaCl_2$  0,01 Grm.

Statt des weinsauren Ammons kann auch essigsaures, milchsaures Ammon u. s. w., oder auch Asparagin, Leucin gewählt werden.

2) Wasser 100 Cctm., Eiweisspepton oder lösliches Eiweiss 1 Grm.,  $K_2HPO_4$  0,2 Grm.,  $MgSO_4$  0,04 Grm.,  $CaCl_2$  0,02 Grm.

3) Wasser 100 Cctm., Rohrzucker 3 Grm., weinsaures Ammon 1 Grm., Mineralstoffe wie in 2.

Für manche Spaltpilze muss die Concentration dieser Lösungen

erhöht, für manche erniedrigt werden. — Auf Sprosspilze wirkt namentlich eine stärkere Vermehrung des Kaliumphosphats günstig.

Besondere Bedeutung haben in letzter Zeit die festen Nährböden erlangt. Als solche sind für Spaltpilze durchschnittene Kartoffeln, Rüben u. s. w. zu gebrauchen; vor allem aber Mischungen von Nährlösungen mit Gelatine oder Agar-Agar. Man bereitet letztere in der Weise, dass man eine durch Erwärmen flüssig gemachte 10% ige Gelatine- oder 1—2% ige Agar-Agarlösung mit dem gleichen Volum Harn, oder Heuinfus, oder Fleischinfus-Peptonlösung, oder Weizeninfus mischt. Die Mischung muss dann neutralisirt werden, was bei stark saurer Reaction zunächst mit Soda, dann mit Dinatriumphosphat, bei schwach saurer Reaction nur mit Dinatriumphosphat geschieht; und darauf muss man die trübe Lösung in der Wärme filtriren durch lockeres Filtrirpapier, oder Glaswolle, oder feines Drahtnetz. In der Kälte erstarren die Lösungen dann zu einer durchsichtigen, klaren Gallerte. — Ferner giebt Blutserum längere Zeit auf 70° erhitzt, eine durchsichtige, feste Gallerte, die gut als Nährboden benutzt werden kann.

Alle diese Nährsubstrate müssen nun vor allen Dingen sterilisirt, d. h. von allen etwa schon darin vorhandenen Keimen befreit werden. Zu dem Zweck werden zunächst die Gläser, die Watte und sonstigen beim Herrichten der Culturgläser gebrauchten Gegenstände etwa  $\frac{1}{2}$  Stunde lang auf 150—160° erhitzt (in einem gewöhnlichen kupfernen Trockenschrank). Sodann werden die Gläser unter kurzem Lüften des Wappfropfens mit der Nährlösung beschickt und nun im Dampfapparat dem strömenden Wasserdampf von 100° etwa 1 Stunde lang ausgesetzt (vgl. S. 267). In gewöhnlichen Dampfkochtöpfen mit fest aufliegendem Deckel muss man 2—3 Stunden lang, bei grösseren Flüssigkeitsmassen noch länger erhitzen. — Kartoffeln, Rüben u. s. w. werden zweckmässig äusserlich mit Sublimatlösung (1 : 2000) gewaschen, dann mit sterilisirtem destillirtem Wasser abgespült und darauf in 15—25 Minuten im Dampfkochtopf gekocht. — Dann werden mit vorher geglühtem Messer Scheiben abgeschnitten und wenn es auf völlig reine Culturen ankommt, werden diese in die oben beschriebenen, in Cylindergläsern stehenden Schälchen gelegt, die dann nach dem Verschluss mit Watte nochmals im Dampfkochtopf sterilisirt werden. — Bei der Bereitung der Gelatinemischungen sind die Nährlösungen vor dem Mischen mit Gelatine für sich zu sterilisiren; nach der Mischung ist die Erhitzung im Dampfkochtopf zu wiederholen, aber nicht über 5—10 Minuten auszudehnen, da sonst die Mischung nach dem Erkalten nicht mehr ordentlich gela-



tinirt. Mischungen mit Agar-Agar. erfordern diese Vorsicht nicht. — Für das Sterilisiren des Blutserums sind hohe Temperaturen nicht anwendbar, weil dabei flockige oder trübe Gerinnung eintreten würde. Die Bereitung desselben erfolgt daher nach KOCH dadurch, dass Serum von möglichst rein gewonnenem Rinder- oder Schafblut in durch Wattepfropf verschlossene, vorher sterilisirte Reagensgläser gefüllt und 6 Tage hindurch täglich 1 Stunde lang auf 58° erwärmt wird (vgl. S. 266). Dann wird das Serum längere Zeit (7—8 Stunden) auf 65—75° erwärmt, bis es eben erstarrt und fest geworden ist.

Zum sicheren Sterilisiren ist demnach nur strömender Wasserdampf von 100°, in einzelnen Fällen oft wiederholtes Erwärmen auf ca. 60°, zuweilen auch Befeuchten mit Sublimatlösung zu verwenden. — Zu besonderen Versuchszwecken kann man auch wohl die mechanische Entfernung der Keime mittelst Filtriren durch Gips versuchen<sup>1)</sup>; oder man kann sich — wie bei den Versuchen über die Präexistenz von Keimen in thierischen Geweben — nur auf die sauberste Entfernung der äusserlich den Gefässen und Objecten anhaftenden Pilze beschränken, indem man darauf rechnet, dass aus einer möglichst rein gehaltenen Atmosphäre und bei raschem Arbeiten keine Keime aus der Luft sich beimengen (vgl. die MEISSNER'schen Versuche S. 27).

Alle Nährsubstrate, die demnächst zur Cultur verwendet werden sollen, müssen endlich noch vor ihrer Benutzung auf Reinheit geprüft werden, dadurch dass man sie längere Zeit, event. bei höherer Temperatur (30—35°) stehen lässt; in vollkommen sterilisirten Nährmedien darf dabei keinerlei Veränderung vor sich gehen. Mit Gelatine bereitete Substrate dürfen nur auf 20—25° erwärmt werden, weil sie sich sonst verflüssigen; Agar-Agargemische und geronnenes Blutserum vertragen dagegen ein Erwärmen auf 40°.

Das Uebertragen der Pilze auf das sterilisirte Nährmedium erfolgt unter grösster Vorsicht durch Entnahme einer kleinen Probe des pilzhaltigen Materials mittelst geglühten Platindrahts und Ueberführung derselben, unter kurzer Lüftung des Wattepfropfs, auf oder in das Nährsubstrat. Bei dieser Uebertragung ist der Zutritt fremder Keime niemals ganz ausgeschlossen; da aber die Gefahr, dass aus der Luft verunreinigende Keime sich niederlassen, überhaupt viel geringer ist als die, dass an den benutzten Gegenständen Pilze haften, so erweist sich diese Fehlerquelle in praxi als nicht so bedeutend. Immerhin ist es geboten, in allen Fällen, wo es auf sichere Fort-

---

1) MIQUEL u. BENOIST, Bull. soc. chim. 35. 552.

führung von Reinculturen ankommt, eine grössere Reihe von Culturgläsern zu beschicken und sich so eine Controle der Resultate zu sichern.

Besondere Methoden sind erforderlich, wenn das Impfmateriel selbst nicht rein ist, d. h. wenn in demselben mehrere Pilzformen vorhanden sind, während nur eine bestimmte gezüchtet werden soll. Für solche Fälle schlug KLEBS das Verfahren der fractionirten Cultur vor, welches darin besteht, dass man zunächst auf einige Culturgläser impft, hier Colonieen auswachsen lässt, von den Colonieen sofort wieder eine kleine Menge auf neues Substrat überträgt, nochmals auswachsen lässt, und so mit der Impfung durch eine Reihe von Culturen fortfährt. Dabei bekommt man in der That allmählich reinere Culturen und zwar von dem oder denjenigen Pilzen, welche am raschesten sich unter den gegebenen Verhältnissen vermehren, während die Chancen immer geringer werden, dass auch von den langsamer wachsenden Pilzen Exemplare in die Impfproben gelangen. Die Methode ist aber deshalb meistens nicht förderlich, weil nicht immer die am schnellsten sich vermehrenden Pilze die interessirenden sind; man kann zwar durch Variirung der äusseren Verhältnisse, namentlich der Temperatur, bald diese bald jene Arten eines Gemisches zu rascherem Wachsthum bringen; aber dies Verfahren bleibt immer unsicher und langwierig, weil wir die günstigsten Wachstumsbedingungen für die verschiedenen Pilzarten zu wenig kennen.

Weit besser ist das Princip der stärksten Verdünnung des Impfmateriels zum Zweck der Isolirung einer Pilzart. Dies Princip ist zuerst von BREFELD, dann von NÄGELI und BUCHNER empfohlen und von BREFELD z. B. auch zur Beschickung der oben beschriebenen, für mikroskopische Culturen construirten feuchten Kammern befolgt. Man nimmt nach BREFELD eine kleine Partie des Materials und mischt sie gleichförmig mit reinem sterilisirtem Wasser; dabei treibt man die Verdünnung so weit, dass in einer mit einer lanzettförmigen Nadelspitze herausgenommenen Probe nur ein Keim sich vorfindet. Hat man sich durch mikroskopische Untersuchung davon überzeugt, dass dieser Bedingung Genüge geschehen ist, dann überträgt man je eine solche Probe auf 1 Culturglas; und man hat dann die grössten Chancen, dass in einigen solcher Gläser lediglich die Pilze sich entwickeln, die in solcher Zahl im Impfmateriel waren, dass ein Keim derselben in einem Tropfen vorhanden war. Von den in geringerer Menge im Impfmateriel verbreiteten Keimen werden nur in wenige Gläser Exemplare gelangen. Handelt es sich um die

Isolirung von Schimmelpilzen, deren Sporen schwer zu sehen sind, so benutzt man zweckmässig statt des Wassers Nährlösung, lässt die Sporen in das Keimungsstadium kommen, sie dadurch grösser und leichter sichtbar werden, und nimmt dann erst die weitere Verdünnung (mit Controle unter dem Mikroskop) vor.

Für Spaltpilze ist aber die mikroskopische Untersuchung meist zwecklos, da die Sporen oder auch die ausgewachsenen Exemplare zu klein sind, um die Anwesenheit eines einzelnen Keims in einem Tropfen zu constatiren. Man kann hier für die weitere Verdünnung nur einen ganz ungefähren Anhaltspunkt durch das mikroskopische Bild gewinnen. Ausserdem ist bei dem ganzen Verfahren vorausgesetzt, dass die interessirenden Pilze gerade in grösster Menge sich im Impfmateriel finden; in vielen Fällen, namentlich wo es sich um Isolirung pathogener Pilze handelt, wird diese Annahme auch zutreffen; aber zuweilen werden die Verhältnisse anders liegen, und es ist in solchem Falle wenig aussichtsvoll, etwa durch bestimmte Culturbedingungen gerade die interessirenden Pilze zur stärksten Vermehrung und zur Ueberwucherung der anderen zu veranlassen.

Eine wirkliche Sicherheit in der Herstellung von Reinculturen ist daher nur durch die von KOCH für diesen Zweck vorgeschlagenen festen Nährböden möglich; solche feste Nährmedien sind schon früher häufig benutzt worden, aber R. KOCH hat dieselben erst in bewusster Absicht, um damit Reinculturen zu erzielen, verwandt. — Während in Flüssigkeiten die ausgesäten und die zufällig hineingelangenden Organismen sich mit einander vermischen, so dass spärlicher entwickelte unter der grösseren Zahl rascher entwickelter Pilze kaum herauszuerkennen sind, bleiben auf einem festen Substrat die einzelnen Colonieen ganz isolirt. Impft man eine Bacterienform auf zahlreiche verschiedene Stellen eines festen Nährbodens, so bilden sich an jeder Impfstelle kleine, bald deutlich makroskopisch sichtbare Colonieen; dieselben haben meistens eine charakteristische Farbe oder Consistenz oder Form. Siedeln sich nun auf demselben Nährboden fremde Spaltpilze an, so bilden diese ihrerseits gesonderte Colonieen, die gewöhnlich mit den geimpften sich nicht vermengen und sich durch Farbe, Form oder Consistenz von diesen unterscheiden. Geräth aber zufällig ein fremder Keim in eine der früheren Impfcolonieen und vermehrt sich auf demselben Terrain, so wird sich meist schon das äussere Ansehen der Colonie verändern; leicht und sicher wird aber durch eine einfache mikroskopische Untersuchung festzustellen sein, ob an einer Stelle, die man zum Ueberimpfen auf einen neuen Nährboden wählen will, Verunreinigungen



oder nur die eine Art von beabsichtigten Pilzen sich finden. Nur die völlig rein befundenen Stellen benutzt man zur zweiten Uebertragung, und gerade in dieser Sicherheit, mit der das Material zu jeder weiteren Impfung ausgesucht werden kann, liegt der Vortheil gegenüber den flüssigen Nährsubstraten. Wenn in diesen einmal fremde Pilze sich finden, so verbreiten sie sich im ganzen Medium und es ist reiner Zufall, wenn bei der Ueberimpfung nicht auch von diesen Keimen einer übertragen wird; eine vorherige an einer Probe ausgeführte Controle mit dem Mikroskop bringt hier offenbar nicht den entsprechenden Vortheil; denn wenn die Untersuchung erst einmal fremde Keime erkennen lässt, so ist es sehr schwer, dann doch noch eine Reincultur zu erzielen; man müsste zu dem Zweck immer erst wieder zu weiterer Verdünnung schreiten und so Manipulationen vornehmen, welche die ganze Cultur gefährden. — Bei den festen Nährböden ist dagegen ein penibles Vermeiden des Zutritts fremder Keime gar nicht erforderlich; denn hier giebt die unter steter Controle vorgenommene Auswahl der zum Abimpfen geeigneten Stelle die weitaus beste Garantie.

Als feste Nährböden für Spaltpilze eignen sich besonders die oben beschriebenen Nährgelatinen. Man kann mit denselben entweder Objectträger in der Weise beschicken, dass man die sterilisirte Gelatine durch Anwärmen verflüssigt, in eine unmittelbar vorher auf 150° erhitzt gewesene Pipette aufsaugt und nun auf eine Reihe von Objectträgern so ausfliessen lässt, dass auf jedem ein 1 Ctm. breiter und etwa 2 Mm. hoher Streifen der rasch erstarrenden Gelatine bleibt. Man hält dann diese Objectträger auf geeigneten Gestellen unter einer Glasglocke, also nicht unter pilzdichtem Verschluss. Will man auf diesen Objectträgern Reinculturen herstellen, so zieht man mit einer Platinnadel, die in das Impfmateriel getaucht war, auf jeden Gelatinestreifen senkrecht zum Längsdurchmesser 4—5, etwa 1 Ctm. von einander abstehende Striche, im Ganzen auf 5—6 Objectträgern etwa 20—30 Striche. Die Objectträger lassen nun eine directe Beobachtung unter dem Mikroskop mit schwacher Vergrößerung (100—200) zu. Dabei kann man aufs deutlichste wahrnehmen, wie an verschiedenen Stellen der Striche Colonien aufgehen, die meistens ganz discret bleiben und einheitliche Formen zeigen; von solchen Stellen kann man eine Probe abnehmen und mit stärkerer Vergrößerung durchmustern, und dann von ebendieserselben rein befundenen Stelle unter dem Mikroskop eine Probe zur Weiterimpfung abnehmen. — Oder man kann sich auch noch zu grösserer Sicherheit eines pilzdichten Verschlusses bedienen; dann wählt man die



oben beschriebenen kleinen Krystallisationsschälchen, die in hohen Bechergläsern mit Wattepfropfen stehen; auch diese lassen, wenn sie mit einer nicht zu hohen Schicht klarer Nährgelatine oder auch mit Blutserum gefüllt sind, eine directe mikroskopische Beobachtung zu.

Handelt es sich um die Isolirung complicirter Spaltpilzgemische, so combinirt man zweckmässig das Princip der Verdünnung und das des festen Nährbodens. Man streicht dann die stark verdünnten Lösungen auf der Gelatine in der eben beschriebenen Weise aus und wiederholt eventuell diese Verdünnung, bis man völlig discrete, isolirte Colonieen bekommt. Auf solche Weise gelingt es, die formenreichsten Spaltpilzmengen zu entwirren.<sup>1)</sup>

Die beschickte Cultur ist dann noch unter wechselnden äusseren Umständen zu halten, namentlich sind als günstigste Temperaturen die von 20° und von 35—38° auszuprobiren. (Gelatinen bleiben nur bei ersterer Temperatur fest; Agar-Agarmischungen und Blutserum auch bei höherer.) Manche pathogene Pilze zeigen bekanntlich erst bei etwa 38° ein auch dann noch sehr langsames Wachstum. Die Nährlösungen sind ebenfalls, wenn es sich um Auffindung der Culturbedingungen von Pilzen handelt, nach Möglichkeit zu variiren; bei pathogenen Mikroorganismen ist namentlich das erstarrte Blutserum zu verwenden. — Sollen Reinculturen conservirt werden, so geschieht dies am besten in gewöhnlichen mit Watte verschlossenen Probirröhrchen mit Nährgelatine, in welche sie sich leicht aus einmal erzielten Reinculturen überimpfen lassen. Der Watteverschluss muss aber dauernd dicht sein; ausserdem überbindet man die Röhrchen zweckmässig mit Pergamentpapier oder dgl., um gegen Staub und etwaiges Durchwachsen von Schimmelpilzen zu schützen und um eine zu starke Verdunstung zu hindern. In solcher Weise aufbewahrt halten sich die meisten Culturen 6—8 Wochen, viele erheblich länger.

Die ganze Methode der Reincultur muss nothwendig erst an einigen Schulfällen erlernt werden; als solche empfehlen sich die Züchtung von *Micr. prodigiosus* auf Kartoffeln, Gelatinen u. s. w. bei verschiedenen Temperaturen; die Züchtung von Milzbrandbacillen auf Kartoffeln, Fleischinfuspepton-Gelatine, Blutserum ebenfalls bei verschiedenen Temperaturen durch zahlreiche Generationen hindurch;

1) Hefepilze und vielleicht noch viele andere gährungserregende Pilze können noch dadurch ziemlich rein cultivirt werden, dass man durch Einsaat einer grossen Menge des Gährungserregers eine intensive Gährung des Mediums hervorruft. Die Reincultur der Hefe beim Brauprocess scheint darin begründet zu sein (vgl. S. 176).

die Züchtung von *Aspergillus flavescens* auf Kartoffelscheiben bei niederer Temperatur (15—20°) u. s. w. Wenn Jeder, der sich mit Pilzculturen befasst und namentlich an die schwere Aufgabe der Isolirung pathogener Pilze sich heranwagt, vorher an diesen Schulfällen sein Können prüfen würde, dann würden sehr viele unreife und der Wissenschaft nicht förderliche Publicationen unterbleiben.

Ist die Reineultur eines Pilzes gelungen, dann handelt es sich noch um die Feststellung seiner morphologischen und biologischen Eigenschaften. Es ist zu ermitteln, welche Nährstoffe und welche Temperatur sein Wachsthum am meisten begünstigt; es ist zu prüfen, ob er Gährung zu erregen vermag und zu diesem Zweck sind der Reihe nach die wichtigsten gährefähigen Substanzen (Kohlehydrate, mehrwerthige Alkohole, Fettsäuren, Eiweissstoffe u. s. w.) nebst den nothwendigen sonstigen Nährstoffen und unter den sonstigen geeigneten Bedingungen mit dem Pilz in Berührung zu bringen. Weiter ist sein Verhalten gegenüber dem Sauerstoff klar zu stellen; Sauerstoffabschluss kann dadurch bewirkt werden, dass ein Kolben mit Nährlösung stark gekocht und dann der ausgezogene Hals des Kolbens zugeschmolzen wird; durch Abbrechen eines seitlichen feinen Ansatzes lässt man das Impfmateriel eintreten und schmilzt dann auch diesen Ansatz sogleich wieder zu; der volle Wasserhammer giebt Aufschluss über die gelungene Austreibung der Luft. — Ferner ist die etwaige pathogene Natur des isolirten Pilzes zu constatiren; Impfversuche an verschiedensten Thieren, an den für Infectionskrankheiten besonders empfänglichen Mäusen, aber auch an Meerschweinchen, Kaninchen, Affen u. s. w. sind eventuell auszuführen. Die Versuche sind mit kleineren und grösseren Dosen vorzunehmen, die Einverleibung muss bald eine oberflächliche Impfung sein, bald eine Injection in das subcutane Gewebe, bald eine Einspritzung direct in die Blutbahn. Erkranken oder sterben Versuchsthiere, so sind mit deren Blut die nämlichen Züchtungs- und Uebertragungsversuche zu machen und die Identität der eingepfunden und der gefundenen Pilze ist sicher zu stellen. Alle diese Versuche sind über längere Reihen auszudehnen. — Endlich sind noch Experimente über die Absterbedingungen des Pilzes anzustellen, und es ist zu ermitteln, welche äussere Umstände und welche Desinfectionsmittel am leichtesten zu seiner Vernichtung führen.

---

# REGISTER.

---

## A.

Abschwächung pathogener Pilze 256.  
260. 281.  
— von Gährungspilzen 207.  
Achlya 52.  
Acrostalagmus 70.  
Actinomyces 78.  
Aecidium berberidis 73. 75.  
Aërobien (vgl. unter „Sauerstoff“) 93.  
Algen 143.  
Alkaloïde 203.  
Anaërobien 93.  
Antheridium 45.  
Apiosporium 58.  
Aromatische Producte 202.  
Asci 45.  
Ascobolus 71.  
Ascococcus 108.  
Ascomycetes 56.  
Ascosporen 45.  
Assimilirung der Nährstoffe 189.  
— des Kohlenstoffs 189.  
— des Stickstoffs 190.  
— der Salze 190.  
Aspergillus 60.  
Aspergillusarten im thierischen Körper 61.  
Autöcische Pilze 46.

## B.

Bacillen 88.  
Bacillus amylobacter 119.  
— anthracis 123.  
— butyricus 119.  
— der blauen Milch 122.  
— erythrosporus 122.  
— des malignen Oedems 126.

— Polymyxa 121.  
— Malariae 132.  
— ruber 122.  
— des Rauschbrands 127.  
— subtilis 116.  
— der Septicämie 128.  
— tremulus 122.  
— der Tuberkulose 130.  
— Ulna 121.  
— Leprae 131.  
Bakterien 88.  
Bacterium aeruginosum 114.  
— der Hühnercholera 115.  
— brunneum 114.  
— der Milchsäuregährung 113.  
— fusiforme 113.  
— Lineola 113.  
— der Septicämie 114.  
— litoreum 113.  
— rubescens 109.  
— syncyanum 114.  
— synxanthum 113.  
— termo 111.  
— der Essigsäuregährung 113.  
Basidien 45.  
Beggiatoa 135.  
— pellucida 135.  
Beleuchtungsapparat am Mikroskop 291.  
Bewegung, mechanische, der Nährlösungen 177. 182. 253.  
Bewegungserscheinungen 88. 199.  
Bierhefe 83.  
Blaue Milch, Bacillus der 122.  
Botrytis 69.  
— bassiana 69.  
Brandpilze 47.  
Buttersäurebacillus 119.

Buttersäuregährung 223. 225. 226.  
 Byssothecium 66.  
 Byssus 77.

## C.

Carbolsäure 268. 269.  
 Chaetocladium 55.  
 Chemische Zusammensetzung der  
   Schimmelpilze 159.  
 — der Sprosspilze 170.  
 — der Spaltpilze 177.  
 Chionyphe Carteri 78.  
 Chytridiaceae 51.  
 Chytridium 51.  
 Cladosporium 69.  
 Cladotrix dichotoma 140.  
 Clathrocystis 109.  
 — roseo persicina 109.  
 Claviceps purpurea 64.  
 Clostridium vgl. Bacillus.  
 Concentration der Nährlösung 166.  
   174.  
 Concurrenz, Einfluss der 168. 175. 183.  
 Conidien 45.  
 Conjugatae 147.  
 Constante Eigenschaften 278.  
 — Stoffwechselproducte 206.  
 Constanz der Arten 270.  
 Copulation 45.  
 Cordyceps 66.  
 Coremium 68.  
 Crenothrix polyspora 140.  
 Cryptococcus alvearius 87.  
 Cultur von Pilzen 293.  
 —, fractionirte 297.  
 Culturen, Conservirung 301.  
 Cystopus 54.

## D.

Dauersporen 45.  
 Dematium 78.  
 — pullulans 78. 82.  
 Depazea 68.  
 Desinfectionsmittel 261.  
 —, wachstumshemmende 264.  
 —, tödtende 266.  
 Diastase 209.  
 Diatomaceae 147.  
 Discomycetes 71.

Diphtheritis 106.  
 Diplococcus 95.  
 Disposition zu Infectiouskrankheiten  
   243. 258. 261.

## E.

Electricität, Einfluss der 181.  
 Empusa muscae 49.  
 — radicans 50.  
 Endocarditis ulcerosa 107.  
 Endosporium 45.  
 Entomophthoreae 49.  
 Episporium 45.  
 Erysipel 106. 250.  
 Erysipelas malignum 131.  
 Erysiphe 57.  
 Essiggährung 113. 233.  
 Essigpilz 85.  
 Eurotium 59.  
 — herbariorum 59.  
 Excrete der Pilze 195.  
 Exoascus 56.  
 Exobasidium 82.

## F.

Fäden, Fadenbildung 43. 88.  
 Färbung der mikroskopischen Präpa-  
   rate 287.  
 — der Tuberkelbacillen 289.  
 Fäulniss 227.  
 Favuspilz 58.  
 Farbstoffproduction durch Pilze  
   205.  
 Fermente, chemische 203. 207.  
 Flechten 142.  
 Flugbrand 48.  
 Fruchthyphen 44.  
 Fruchtkörper 44.  
 Fruchträger 43.  
 Fumago 66.  
 Fusisporium 68.

## G.

Gährfähige Substanzen 236.  
 Gährung, Bedeutung der 197.  
 —, Begriff der 214.  
 — der Kohlehydrate 81. 216. 222.  
 —, chemischer Vorgang 235.  
 — der mehrwerthigen Alkohole 224.



Gährung der Fettsäuren 225.

—, Theorie der 20. 21. 240.

Gallertalgen 145.

Gasteromycetes 76.

Geisseln als Bewegungsapparate 88.

Gemmen 55.

Generationswechsel 46.

Getreiderost 73.

Gliacoccus 95.

Gliederhefe 55.

Gloeocapsa 146.

Gloeogenae 149.

Glycoside 210.

Gonidien 143.

Gonorrhoe 107.

Gymnoascus 56. 82.

## H.

Hausschwamm 76.

Hefepilze 80. 81.

—, Lebensbedingungen der 174.

Heilung der Infektionskrankheiten 255.

Herpes tonsurans 58.

Heteröcische Pilze 46.

Hymenomycetes 76.

Hyphae 43. 77.

Hypoderma 71.

Hypodermii 47.

## I.

Immersionssysteme zur mikroskopischen Untersuchung 290.

Immunität 258.

Intramolekulare Athmung 186. 197.

Invertin 209.

Isaria 68.

## K.

Kahmpilz 83. 85.

Kartoffelkrankheit, Pilz der 53.

Kohlenstoffbedarf 162. 173. 179.

Kraftwechsel der Pilze 199.

Krankheitserregung durch niedere Pilze. Historisches 35.

— durch Schimmelpilze 242.

— durch Spaltpilze 247.

Kugelhefe 55.

## L.

Laboulbenia 67.

— muscae 67.

Lanosa nivalis 71.

Leprabacillus 131.

Leptomitius 53.

Leptothrix 133.

Lichenes 142.

Licht, Einfluss des 181.

Lichtentwicklung durch Pilze 200.

## M.

Madurafußs 78.

Malaria 132.

Malignes Oedem 126. 249.

Mannitgährung 223.

Megabacteria 95.

Megacoccus 95.

Mehlthau 57.

Merulius lacrymans 76.

Mesobacteria 95.

Mesococcus 95.

Microbe du choléra des Poules 115.

Micrococcus 96.

— aurantiacus 100.

— bombycis 100.

— chlorinus 100.

— cyaneus 100.

— fulvus 100.

— luteus 100.

— prodigiosus 99.

— der Pyämie 104.

— der Phosphoreszenz 98.

— ureae 98.

— der schleimigen Weingährung 98.

— der progressiven Gewebsnekrose 103.

— der progressiven Abscessbildung 104.

— septicus 105.

— der Septicämie 105.

— in faulenden Substraten 98.

— bei Wundinfektionskrankheiten 102.

Mikroskopische Untersuchung der Pilze 285. 290.

Mikrosporinen 95.

Milchsäuregährung 113. 222.

Milzbrandbacillen 124.

Mineralsubstanzen als Nährstoffe 164.

Modificationen der Form 273.  
 Monadinen 95.  
 Monas Okenii 142.  
 — vinosa 142.  
 — Warmingii 142.  
 Monococcus 95.  
 Mucor 54.  
 — mucedo 54.  
 — racemosus 55.  
 Mutterkorn 65.  
 Mycelium 43.  
 Myceliumformen, sterile 77.  
 Mycoderma aceti 85. 113.  
 — cerevisiae 85.  
 — vini 85.  
 Myconostoc gregarium 140.  
 Mykroprotein 92.  
 Myxomycetes 76.

## N.

Nährboden, feste 299.  
 Nährlösungen zu Culturen 295.  
 Nährstoffe der Schimmelpilze 160.  
 — Spaltpilze 178.  
 — Sprosspilze 172.  
 Nematogenae 150.  
 Nostoc commune 145.

## O.

Oidium 57.  
 — albicans 58.  
 — lactis 57.  
 — Tuckeri 57.  
 Oogonium 45.  
 Oosporen 45.  
 Oscillariaceae 145.  
 Oscillaria tenuis 146.  
 Osteomyelitis 107.  
 Ozonwirkung auf Pilze 253.

## P.

Pathogene Bakterien 114.  
 Palmellaceae 147.  
 Penicillium 62.  
 — glaucum 62.  
 Peptonisierende Fermente 209.  
 Peridie 73.

Perisporiceae 56.  
 Perithezien 56.  
 Peronospora 53.  
 — infestans 53.  
 Peronosporaceae 53.  
 Petalobacteria 95.  
 Petalococcos 95.  
 Pezize 71.  
 Phlyctidium 52.  
 Photographiren der Pilze 291.  
 Phycochrom 144.  
 Phycochromaceen 144. 145.  
 Phycomycetes 51.  
 Pigmentbakterien 113.  
 Pigmentbildende Bacillen 122.  
 — Mikrokokken 99.  
 Pilobolus 54.  
 Piptocephalis 55.  
 Pityriasis versicolor 58.  
 Plastische Stoffe 192.  
 Pleomorphie der Fructificationsorgane 46.  
 Pleospora 67.  
 Pleurococcus vulgaris 148.  
 Pneumonia crouposa 107.  
 Polydesmus 71.  
 Progressive Gewebsnekrose 102. 249.  
 Protomycetes 49.  
 Protosporenformen der Ascomyceten 67.  
 Ptomaine 204.  
 Puccinia graminis 73. 74.  
 — coronata 74.  
 Pyämie-Mikrokokken 104.  
 Pycniden 45.  
 Pyrenomycetes 62.

## Q.

Quecksilberchlorid als Desinfektionsmittel 269.

## R.

Rauschbrand 127.  
 Reaction der Nährlösung 167. 174. 181.  
 Recurrens 138.  
 Reductionsprocesse bei der Fäulniss 231.

Reincultur von Pilzen 275. 297. 301.  
 Rhizomorpha 77.  
 Rivulariaceae 144. 145.  
 Roggenstengelbrand 49.  
 Rostpilze 73.  
 Russthaupilz 66.

## S.

Saccharomyces albicans 86.  
 — apiculatus 84.  
 — cerevisiae 83. 84.  
 — conglomeratus 84.  
 — ellipsoideus 84.  
 — exiguus 84.  
 — glutinis 87.  
 — mycoderma 85.  
 — pastorianus 85.  
 — sphaericus 85.  
 Saprolegnia 53.  
 Saprolegniaceae 52.  
 Sarcina 108.  
 — hyalina 109.  
 — litoralis 109.  
 — Reitenbachii 109.  
 — urinae 109.  
 — ventriculi 109.  
 Sauerstoff, activer, bei der Fäulniss 231.  
 —, Bedeutung des 195.  
 Sauerstoffbedarf der Schimmelpilze 164.  
 — der Spaltpilze 179.  
 — der Sprosspilze 173.  
 Scarlatina 108.  
 Schimmelpilze, Bedingungen d. Sporen-  
 bildung 109.  
 —, chemische Zusammensetzung der 159.  
 —, als Krankheitserreger 242.  
 —, Nährstoffe der 160.  
 —, Lebensbedingungen der 159.  
 Schizomycetes 87.  
 Schizophytae 149.  
 Schizosiphon 144.  
 Schleimige Gährung 223.  
 Schwärmsporen 45.  
 Schwefel als Nährstoff 163.  
 Schweflige Säure 269.  
 Schmierbrand 48.  
 Sclerotien 43.

Scytonemeae 145.  
 Secale cornutum 65.  
 Selbstvergähmung der Hefe 219.  
 Selenosporium 69.  
 Septicämie 102. 250.  
 — bei Kaninchen 105. 114.  
 — bei Mäusen 128.  
 Septoria 68.  
 Soorpilz 86.  
 Spaltpilze 87.  
 —, Bewegung der 88.  
 —, Vermehrung der 89.  
 —, als Krankheitserreger 247.  
 —, chemische Zusammensetzung der 92. 177.  
 —, Nährstoffe der 178.  
 —, Lebensbedingungen der 177. 181.  
 —, Sporenbildung und Sporenkeimung der 183.  
 Sphaerotilus natans 141.  
 Sporangien 45.  
 Spermatien 45.  
 Spermogonien 45. 73.  
 Sphacelia 69.  
 Sphaerella 67.  
 Spicularia 70.  
 Spirillum 88. 135.  
 — leucomelaenum 137.  
 — Rugula 138.  
 — sanguineum 139.  
 — serpens 138.  
 — tenue 139.  
 — Undula 139.  
 — Volutans 139.  
 Spirochaete 88. 138.  
 — Obermeieri 138.  
 — plicatilis 138.  
 — des Zahnschleims 138.  
 Sporangium 54.  
 Sporen 44.  
 Sporenbildung und Keimung 169. 176. 183.  
 — der Spaltpilze 90.  
 Sporendonema 69.  
 Sporidesmium 70.  
 Sprosspilze 80. 81.  
 —, Bedingungen der Sporenbildung 176.  
 —, chemische Zusammensetzung 170.  
 — als Krankheitserreger 246.

## Sprosspilze, Lebensbedingungen der

170.

—, Nährstoffe der 172.

Staphylosporium violaceum 70.

Staubbrand 48.

Steinbrand 48.

Stemphylium 70.

Sterigmen 45.

Sterilisirung der Nährlösungen 296.

Stickstoffbedarf 161. 173. 178.

Stoffwechselproducte der Pilze  
201.

Streptococcus 95.

Streptothrix Foersteri 139.

Stylosporen 45.

Sublimat als Desinfectionsmittel 269.

Suspensoren 45.

Synchytrium 51.

Systeme der Pilze nach COHN, FRANK,  
BREFELD 149.

## T.

Tarichium megaspermum 51.

Teleutosporen 72.

Temperaturbedürfniss der Schim-  
melpilze 168.

— der Spaltpilze 182.

Thallophytae 151.

Thallus 43.

Thecae 45.

Tilletia caries 48.

Torula 58. 71.

Traubenkrankheit 57.

Tremellini 75.

Tuberaceae 61.

Tuberculo seabacillus 129. 289.

Typhus 108. 133.

## U.

Umzüchtung 282.

Uredineae 72.

Uredosporen 72. 75.

Urocystis occulta 49.

Uromyces 74.

Ustilagineae 47.

Ustilago carbo 48.

## V.

Vaccina 106.

Varietäten, Entstehung der 271.

Veränderlichkeit der Form 275.

— physiologischer Eigenschaften 282.

Vermoderung 233.

Verwesung 230.

Vibrio 88.

Vibrion septique 126.

## W.

Wasser als Nährstoff 164.

Wasserdampf zur Desinfection 267.

Wärmeproduction durch Pilze 200.

Weinhefe 83.

Wundinfektionskrankheiten 248.

## X.

Xenodochus ligniperda 70.

## Z.

Zitteralge 145.

Zoogloea 89.

Zygospore 45.

Zymogene Bacillen 116.

— Bakterien 111.

— Mikrokokken 98.



# HANDBUCH DER HYGIENE.

I. THEIL.

2. ABTHEILUNG. 2. HEFT.

---

V. ZIEMSSSEN'S HANDBUCH  
DER  
SPECIELLEN PATHOLOGIE UND THERAPIE.  
ERSTER BAND.  
Dritte umgearbeitete Auflage.

---

HANDBUCH DER HYGIENE  
UND DER  
GEWERBEKRANKHEITEN

BEARBEITET VON

DR. A. BAER IN BERLIN, DR. F. ERISMANN IN MOSKAU, PROF. DR. C. FLÜGGE IN GÖTTINGEN, PROF.  
J. FORSTER IN AMSTERDAM, PROF. A. GEIGEL IN WÜRZBURG, BAUR. L. DEGEN IN REGENSBURG, PROF.  
A. HILGER IN ERLANGEN, PROF. L. HIRT IN BRESLAU, DR. A. KUNKEL IN WÜRZBURG, DR. G. MERKEL  
IN NÜRNBERG, PROF. V. PETTENKOFER IN MÜNCHEN, DR. F. RENK IN MÜNCHEN, DR. A. SCHUSTER  
IN MÜNCHEN, PROF. J. SOYKA IN PRAG UND DR. G. WOLFFHÜGEL IN BERLIN.

HERAUSGEGEBEN

VON

Prof. Dr. M. v. PETTENKOFER und Prof. Dr. H. v. ZIEMSSSEN.

---

ERSTER THEIL.  
2. ABTHEILUNG. 2. HEFT.

Die Luft von Dr. Friedrich Renk.

---

LEIPZIG,  
VERLAG VON F. C. W. VOGEL.  
1886.

# HANDBUCH DER HYGIENE

UND DER

## GEWERBEKRANKHEITEN.

---

ERSTER THEIL.

### INDIVIDUELLE HYGIENE.

2. ABTHEILUNG. 2. HEFT.

---

## Die Luft

VON

Dr. **FRIEDRICH RENK** in München.

MIT 27 ABBILDUNGEN.

---

LEIPZIG,

VERLAG VON F.C.W. VOGEL.

1886.

Das Uebersetzungsrecht ist vorbehalten.



# INHALTSVERZEICHNISS.

## ERSTER THEIL.

### Beschaffenheit der Luft.

	Seite
I. Chemische Zusammensetzung der Luft . . . . .	6
1. Sauerstoff und Stickstoff . . . . .	6
2. Wasserdampf . . . . .	11
3. Kohlensäure . . . . .	26
4. Ammoniak . . . . .	40
5. Salpetersäure und salpetrige Säure . . . . .	43
6. Ozon und Wasserstoffsuperoxyd . . . . .	44
7. Gasförmige Verunreinigungen der Luft . . . . .	55
II. Physikalische Eigenschaften der Luft . . . . .	64
1. Die Wärme . . . . .	64
2. Luftdruck . . . . .	91
3. Luftbewegung . . . . .	100
4. Niederschläge . . . . .	109
5. Staubgehalt der Luft . . . . .	116
6. Witterung und Klima . . . . .	134

## ZWEITER THEIL.

### Hygienische Bedeutung der Luft.

1. Sauerstoff und Stickstoff . . . . .	146
Verminderung des Sauerstoffgehaltes der Luft . . . . .	150
Erhöhung des Sauerstoffgehaltes der Luft . . . . .	159
2. Feuchtigkeit . . . . .	160
3. Kohlensäure . . . . .	167
4. Ammoniak, Salpetersäure und salpetrige Säure . . . . .	169
5. Ozon und Wasserstoffsuperoxyd . . . . .	170
6. Die gasförmigen Verunreinigungen der Luft . . . . .	172

	Seit
7. Die Wärme . . . . .	178
Einwirkung niederer Temperatur . . . . .	183
Hohe Temperaturen . . . . .	189
8. Luftdruck . . . . .	200
Erhöhung des Luftdruckes . . . . .	200
Verminderung des Luftdruckes . . . . .	202
9. Luftbewegung . . . . .	205
10. Niederschläge . . . . .	210
11. Staubgehalt der Luft . . . . .	213
12. Witterung und Klima . . . . .	222

---

# DIE LUFT

VON

Dr. FRIEDRICH RENK IN MÜNCHEN.

PRIVATDOCENT FÜR HYGIENE.





Die gasförmige Hülle des Erdballes, welche an allen Punkten der Erdoberfläche eine Höhe von circa 10 Meilen erreicht, die Atmosphäre, ist eines der wichtigsten Substrate alles Lebens. Nicht nur steht die grosse Mehrzahl aller Organismen mit derselben in körperlichem Contacte und nimmt infolge dessen an allen Vorgängen innerhalb des Luftmeeres innigsten Antheil, sondern es besteht auch noch eine engere Beziehung zwischen beiden, insofern durch die Lebensvorgänge speciell die Athmung der Organismen ein lebhafter Austausch gasförmiger Stoffe unterhalten wird; einestheils werden hierbei der Luft Gase entzogen, welche zum Aufbaue und zur Erhaltung der Thier- und Pflanzenkörper unumgänglich nöthig sind, andererseits aber geben die Organismen auch wieder Gase an die Luft ab, welche aus ihrem Körper ausgeschieden werden müssen, da sie seiner Entwicklung oder Erhaltung schädlich sein würden. Auch die meisten Pflanzen und Thiere, welche in einem anderen Medium, dem Wasser, ihr ganzes Dasein zubringen, können der Luft nicht völlig entbehren, wenngleich sie in dieselbe versetzt zu Grunde gehen; sie sterben auch dann, wenn das Wasser in welchem sie leben, nicht genug Luft absorbirt enthält.

Die Atmosphäre befindet sich niemals in völliger Ruhe weder in Bezug auf ihre physikalischen Eigenschaften, noch bezüglich ihrer chemischen Zusammensetzung. Die der Erde von der Sonne zugesandte Wärme wird zum Theil auch zur Erwärmung des Luftmeeres verwendet, jedoch bedingt sowohl die Kugelgestalt der Erde, als auch ihre Bewegung um die eigene Achse und um die Sonne im Vereine mit der niederen Temperatur des Weltraumes eine nach Raum und Zeit ungleichmässige Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche, und dadurch Verschiebungen von Luftmassen gegeneinander, welche wieder Aenderungen des Luftdruckes, der Luftfeuchtigkeit, die Entstehung von Wolken und Niederschlägen und von Winden, zur Folge haben. Tag und Nacht, Winter und Sommer folgen in beständigem Wechsel einander und verursachen an jedem Punkte der Erdoberfläche mehr weniger intensive Veränderungen der Zustände der Atmosphäre; noch grössere Unterschiede aber, als man an einem und demselben Orte in den klimatischen Verhältnissen beobachtet, finden sich, wenn man Orte, welche in der Nähe des Erdäqua-

tors gelegen sind, mit Orten in den Polargegenden vergleicht. Es sei beispielsweise hier nur erwähnt, dass die höchste und die niederste auf der Erde je beobachtete Temperatur (im Freien) um  $128^{\circ}$  C. auseinanderliegen, also um beträchtlich mehr Temperaturgrade als Gefrierpunkt und Siedepunkt des Wassers von einander entfernt sind.

Diese grossen Differenzen machen es den höher entwickelten Classen des Thier- und Pflanzenreiches zur Unmöglichkeit, sich über die ganze Erdoberfläche auszubreiten; jede Thier- und Pflanzenspecies vermag nur eine gewisse Zone des Erdballes zu bewohnen, die einen mehr nördliche Gegenden, andere die Tropen; nur der Mensch allein hat von der ganzen Erdoberfläche vom höchsten Norden bis zum Aequator Besitz ergriffen und bewohnt dieselbe unbekümmert um die Unbilden der Witterung und des Klimas, da er gelernt hat, sich gegen dieselben zu schützen. Kleidung und Wohnung sind die Waffen, mit welchen der Mensch die ungünstigen Einflüsse von Seite der Atmosphäre bekämpft; ihre Wirkung beruht auf der Abgrenzung eines grösseren oder geringeren Luftvolumens, welches einer Beeinflussung zu Gunsten der leiblichen Bedürfnisse des Menschen zugänglich ist, und daher nach dem Belieben desselben zum Schutze gegen Wärme oder Kälte, Nässe und Sturm dienen kann; unter allen Umständen aber bleibt der menschliche Körper beständig in Contact mit Luft, denn nur ganz kurze, nach Secunden zu berechnende Zeit kann der Mensch auf den Gasaustausch mit der Atmosphäre verzichten, ohne sofort sein Leben aufs Spiel zu setzen.

Nicht nur die physikalischen Zustände der Luft sind beständigem Wechsel unterworfen, sondern, wie schon erwähnt, auch die chemische Zusammensetzung derselben. Die Elemente, aus welchen alle organischen Stoffe und also auch die organisirten Gebilde aufgebaut sind, sind entweder selbst Gase, wie Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff und eine grosse Anzahl von Verbindungen dieser unter einander, oder gehen, wenn sie auch an und für sich nicht flüchtig sind, z. B. Kohlenstoff, Schwefel, Phosphor, mit anderen Elementen mehr oder weniger zusammengesetzte flüchtige Verbindungen ein, welche, wenn sie aus dem Körper durch Athmung während des Lebens, oder nach dem Tode durch Zersetzungs Vorgänge ausgeschieden werden, in die Luft übergehen; es legen somit diese Stoffe einen Theil des Weges, welchen sie in dem beständig im Gange befindlichen Kreislaufe der Stoffe aus der unbelebten Natur durch die beiden Reiche organisirter Wesen, das Pflanzenreich und das Thierreich hindurch und zurück nach der ersteren durchlaufen müssen, durch die Luft zurück, aus welcher sie wieder in die thierische oder pflanzliche Organisation

eintreten können. Somit finden überall, wo Thiere und Pflanzen athmen oder Leichen solcher in Zersetzung übergehen, beständig Veränderungen in der Zusammensetzung der Luft statt, welche sich einerseits als eine Verminderung der in der Luft enthaltenen Gase (Sauerstoff, Kohlensäure), andererseits als Beimengung gasförmiger Stoffe zur Luft (Kohlensäure, Wasserdampf, Ammoniak, Schwefelwasserstoff u. s. w.) charakterisiren. Diese Aenderungen der chemischen Zusammensetzung der Luft erreichen im Freien nur selten eine Grösse, welche einen einigermaassen erheblichen Einfluss auf die menschliche Gesundheit auszuüben im Stande wäre, da die Diffusion der der Luft fremden Gase mit grosser Geschwindigkeit erfolgt, und ausserdem durch die beständige Bewegung der Luft schon im Momente des Entstehens jener Gase eine hochgradige Verdünnung derselben bewirkt wird. Anders in geschlossenen Räumen, welche der Mensch sich zum Schutze gegen Wind und Wetter errichtet; hier finden Diffusion und Verdünnung in den künstlichen Umschliessungen der Wohnungen eine Grenze für ihre Wirksamkeit, welche häufig genug eine merkliche, ja unter Umständen höchst gefährliche Zusammensetzung der Luft im Gefolge hat. Der Mensch erkaufte sich den Schutz gegen die Unbilden des Wetters mit einer Verminderung der Qualität der Luft; er entzieht sich durch die Errichtung seiner Wohnung Einflüssen, welche ihm von Seite der physikalischen Vorgänge in der Luft drohen, setzt sich dafür aber häufig Gefahren von Seite der chemischen Beschaffenheit der abgeschlossenen Luftmenge aus.

Die wissenschaftliche Hygiene sieht sich daher bei Betrachtung des Verkehres zwischen dem menschlichen Organismus und der ihn umgebenden Luft vor ein reich gegliedertes Arbeitsfeld gestellt und handelt es sich nun darum, die Gesichtspunkte zu gewinnen, von denen aus eine Uebersicht über das ganze Gebiet ermöglicht wird.

Die Eintheilung des vorliegenden Handbuches würde es von vornherein nicht ausschliessen, das ganze Material, welches bezüglich der Luft und ihrer hygienischen Bedeutung existirt, in diesem Capitel niederzulegen. Betrachtet man jedoch dieses Material etwas näher, so findet man, dass viele Theile desselben ebenso gut wie hier in einigen anderen Capiteln untergebracht werden können oder müssen, es also zu vielfachen Wiederholungen kommen müsste, wenn jenes Vorhaben wirklich ausgeführt würde. Um solche zu vermeiden, soll in diesem Capitel auf ein näheres Eingehen auf die Luft geschlossener Räume verzichtet werden, und verbleibt somit nur die Luft im Freien und deren hygienische Bedeutung als Gegenstand der Darstellung. Immerhin aber erscheint es geboten, in den einzelnen

Abschnitten auch auf die Veränderungen der Luft, welche sie in Wohnungen, Fabriken, Bergwerken u. s. w. erleidet, wenn auch nur summarisch, hinzuweisen, um zu einer Uebersicht über die extremsten Verhältnisse, welchen sich die Menschen mit oder ohne Gefährdung ihrer Gesundheit und ihres Lebens exponiren, zu gelangen, umsomehr, da eine derartige Uebersicht in keinem der anderen Capitel des Handbuches gegeben werden kann.

Im Interesse der Uebersichtlichkeit schien es zweckmässig, die Materie in zwei grössere Theile zu zerlegen, deren ersterer sich nur mit der naturwissenschaftlichen Beschreibung der Luft zu befassen haben wird, worin also die chemische Zusammensetzung und die physikalischen Eigenschaften derselben zur Erörterung gelangen werden, während dem zweiten die physiologische und pathologische Bedeutung der einzelnen Factoren, in welche im ersten Theile der Gegenstand zerlegt wurde, zuzuweisen sind.

## ERSTER THEIL.

### Beschaffenheit der Luft.

#### I. Chemische Zusammensetzung der Luft.

Die atmosphärische Luft ist ein Gemenge mehrerer Gasarten, worunter Sauerstoff und Stickstoff der Menge nach alle anderen weit übertreffen; ausser diesen finden sich noch Wasserdampf, Kohlensäure, Ammoniak, Salpetersäure constant der Luft beigemischt, und fast immer auch Ozon, Wasserstoffsuperoxyd, salpetrige Säure.

Die Luft dehnt sich beim Erwärmen von  $0^{\circ}$  C. auf  $1^{\circ}$  um 0,003665 ihres Volumens aus; 1 Liter wasserfreie und kohlensäurefreie Luft wiegt bei  $0^{\circ}$  <sup>1)</sup> und 760 Mm. Barometerstand 1,2932 Grm. (REGNAULT), nach MAGNUS in Berlin 1,2936 Grm. <sup>2)</sup>.

#### 1. Sauerstoff und Stickstoff.

PRIESTLEY, v. SCHEELE und LAVOISIER begründeten in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts die Kenntniss von der Zusammensetzung der Luft. PRIESTLEY hatte den Sauerstoff entdeckt, aber LAVOISIER sprach es erst bestimmt aus, dass die atmosphärische Luft

1) Wo nicht die specielle Bezeichnung R. (Reaumur) oder F. (Fahrenheit) angegeben ist, sind Grade Celsius zu lesen.

2) Neues Handwörterbuch der Chemie. Bd. I. S. 849.



aus zwei differenten Gasarten, die er Oxygen und Azot benannte, bestehe. Gleichzeitig hatte SCHEELE die Zusammensetzung der Luft aus zwei verschiedenen Gasarten erkannt, trat aber erst später mit dieser Entdeckung hervor. Seit jener Zeit wurden viele quantitative Untersuchungen über das Verhältniss beider Gase zu einander angestellt, deren Ergebniss sich im Allgemeinen dahin zusammenfassen lässt: die atmosphärische Luft hat an allen Punkten der Erde fast vollkommen gleiche Zusammensetzung, es treffen im Mittel auf 20,9 Volumina Sauerstoff 79,1 Volumina Stickstoff (BUNSEN, REGNAULT, REISET, LEWY u. A.<sup>1)</sup>).

Diese Mengenverhältnisse unterliegen im Freien nur geringen Schwankungen nach Ort und Zeit. Eine grössere Untersuchungsreihe von REGNAULT, welche die Ermittlung des Sauerstoffgehaltes der Luft von verschiedenen Punkten der Erdoberfläche zum Gegenstande hatte, ergab folgende Resultate:

9	Luftproben von	Lyon und Montpellier . . . .	20,92 bis 20,96 ‰
30	„	Berlin . . . . .	20,91 „ 21,00 ‰
10	„	Madrid . . . . .	20,92 „ 20,98 ‰
23	„	Genf, Mont Salève, Mont Buet. .	20,91 „ 20,99 ‰
15	„	der Rhede von Toulon, vom mittelländischen Meere und vom Hafen von Algier . . . . .	20,91 „ 20,98 ‰
5	„	auf der Fahrt nach Veracruz gesammelt . . . . .	20,92 „ 20,96 ‰
1	Luftprobe von	Guallalamba (Südamerika) . . .	20,92 „ 20,96 ‰
2	Luftproben vom	Gipfel des Pichincha . . . . .	20,95 „ 20,99 ‰
8	„	1848, 1849 und 1850 von verschiedenen Punkten der Südsee . . . . .	20,90 „ 20,97 ‰
17	„	1848, 1849 in den Polarmeeren gesammelt . . . . .	20,85 „ 20,94 ‰
Das Mittel aller Versuche war 20,96 ‰.			

Es finden sich also in der That beim Vergleiche verschiedener Orte äusserst geringe Differenzen im Sauerstoffgehalte der Luft, welche nur wenige Hundertel eines Procentes betragen.

Dem gegenüber ist es auffallend, dass in neuerer Zeit einige Forscher für einen und denselben Ort viel beträchtlichere Schwankungen des Sauerstoffgehaltes der Luft constatiren konnten. So fand MACAGNO<sup>2)</sup> in Palermo zur regenlosen Zeit im Mittel 20,92 ‰ Sauerstoff, dagegen zur Regenzeit während der Wintermonate nur 20,717 ‰, an einem Tage sogar einmal nur 19,994 ‰. Diese letzte, sowie vier

1) Neues Handwörterbuch der Chemie. Bd. I. S. 855.

2) Chemisches Centralblatt 1880. S. 225.

andere Beobachtungen, deren Resultate zwischen 19,998 und 20,064% schwankten, wurden an Tagen mit Scirocco angestellt. Ebenso kam JOLLY <sup>1)</sup> zu dem Resultate, dass der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre nicht ganz unbeträchtlichen Schwankungen unterworfen sei. Versuche mittelst eines eigenthümlich construirten Endiometers ergaben in München folgende Resultate:

Datum des Versuches	Barometer- stand in Mm.	Wind- richtung	Sauerstoffge- halt in %
13. Juni	714,0	West	20,53
18. "	717,6	Nord	20,95
24. "	716,8	Nordost	20,73
27. "	718,7	"	20,65
31. "	718,1	"	20,69
3. Juli	716,9	Ost	20,66
17. "	713,1	Süd	20,64
19. "	713,9	Südwest	20,56
27. "	719,9	Nordost	20,75
12. October	715,7	Ost	20,78
14. "	720,9	Nordwest	20,86
15. "	719,3	Ost	20,83
16. "	723,3	"	20,75
21. "	723,0	"	20,84
23. "	710,6	Nordwest	20,84
27. "	721,5	Nord	21,01
31. "	714,2	West	20,85
2. November	724,1	Nordost	20,91
10. "	718,2	Südost	20,56
13. "	707,0	West	20,76
20. "	708,9	Nordwest	20,65

Die grösste Differenz innerhalb dieser Versuchsreihe beträgt nahezu ein halbes Procent ( $21,01 - 20,53 = 0,48\%$ ); dass nicht Fehler in der Methode die Ursache dieses unerwarteten Resultates seien, wurde durch die vollkommene Uebereinstimmung mit den Resultaten einer anderen Versuchsreihe, welche mittelst einer Wägemethode erhalten worden waren, nahezu zur Gewissheit erhoben; auch hier differirten die Extreme zwischen 20,965 und 20,477, also um 0,488 Procente Sauerstoff. Der grösste Sauerstoffgehalt wurde in beiden Versuchsreihen, welche in zwei aufeinander folgenden Jahren angestellt worden waren, unter herrschendem Polarstrome, während der kleinste bei Föhn unter herrschendem Aequatorialstrom zur Beobachtung kam. JOLLY glaubt daraus schliessen zu dürfen, dass trotz

1) Die Veränderlichkeit der Zusammensetzung der atmosphärischen Luft. Abhandlungen der K. b. Acad. d. Wissensch. II. Cl. Bd. XIII. 1878.

der reichen Vegetationsdecke südlicher Breiten die Oxydationsprocesse daselbst die Reductionsprozesse (vielleicht infolge der höheren Temperatur) überwiegen, dass daher Luft aus den Tropen (Föhn) ärmer an Sauerstoff sei, als die aus dem Norden durch Polarströme herbeigeführte Luft, deren höherer Sauerstoffgehalt ein Zurücktreten der Oxydationsprocesse gegen die Reduction für nördlichere Gegenden ausdrücke.

Diese Ansicht wird jedoch von MORLEY <sup>1)</sup> auf Grund der Thatsache, dass keine derartige Differenz zwischen der Luft in den Tropen und der in den Polargegenden erwiesen sei (siehe die Versuche von REGNAULT), angezweifelt, und vermuthet derselbe, der niedere Sauerstoffgehalt der Luft werde durch das Niedersteigen von Luftmassen bedingt, welche lange in einer grösseren Höhe verweilt habe und daselbst einen Theil ihres Sauerstoffes eingeblüsst habe. (?)

Die Frage nach einer richtigen Erklärung der Ergebnisse der bezüglich der Exactheit der Methode kaum anzuzweifelnden Beobachtungen von JOLLY, MACAGNO und auch MORLEY scheint daher noch weiterer Untersuchungen zu bedürfen; sie ist jedoch für die Hygiene von untergeordneter Bedeutung, da den hierbei in Betracht kommenden Schwankungen kaum ein Einfluss auf die menschliche Gesundheit beizumessen ist.

Grössere Aenderungen im Sauerstoffgehalte der Luft treten niemals im Freien, sondern nur in geschlossenen Räumen auf, in natürlichen Höhlen, wo bedeutende Gasentwicklung aus dem Boden heraus stattfindet, in Bergwerken u. s. w. Eine sehr sauerstoffarme Luft fand z. B. FOREL <sup>2)</sup> in der Grotte des Fées de St. Maurice; dieselbe hatte folgende Zusammensetzung:

Sauerstoff . . . . .	15,33 %
Stickstoff . . . . .	82,66 %
Kohlensäure . . . . .	1,99 %.

In Bergwerken wird sowohl durch die Respiration der Arbeiter und deren Beleuchtungsapparate, sowie endlich durch die zum Sprengen der Steine verwendeten Materialien direct eine Verminderung des Sauerstoffgehaltes der Luft verursacht, als auch indirect dessen Procentgehalt durch Beimischung von fremden Gasen herabgedrückt. Sehr geringe Werthe wurden unter anderem gefunden von

MOYLE <sup>3)</sup> in den Cornisher Erzgruben . . Maximum 18,95 %  
Minimum 14,51 %

1) WOLLNY, Forschungen auf dem Gebiete d. Agriculturphysik. Bd. III. S. 319.

2) PAUL BERT, La pression barométrique. Paris 1878. S. 1049.

3) ANGUS SMITH, On air and rain. London 1872. p. 76.

HAUSMANN <sup>1)</sup> in einer Grube am Harz . . . . .	13 ‰
BROCKMANN <sup>2)</sup> in einer nicht ventilirten Grube . . . .	18,5 ‰
BUNSEN <sup>3)</sup> in einem Braunkohlenbergwerke . . . . .	13,8 ‰ u. s. w.

In Kohlenbergwerken trägt überdies auch eine natürliche Entwicklung von Kohlensäure und Grubengas zur Verminderung des Sauerstoffes der Luft bei.

Noch tiefer kann der Sauerstoffgehalt der Luft in Sprengminen nach der Explosion infolge der Beimengung der Sprenggase zur atmosphärischen Luft sinken. Hierfür bringt POLECK<sup>4)</sup> Belege bei; er fand in einer speciell für diese Untersuchungen angelegten Mine

unmittelbar nach dem Schliessen . . . . .	4,88 ‰
nach $\frac{1}{4}$ Stunde . . . . .	12,73 ‰
„ 8 Stunden . . . . .	17,15 ‰
„ 30 „ . . . . .	16,43 ‰
„ 5 Tagen . . . . .	17,39 ‰ Sauerstoff.

Der Sauerstoff der Luft erleidet beständig eine Verminderung durch die Respiration von Menschen und Thieren, durch die Zersetzung organischer Stoffe, durch die Verbrennung solcher zum Zwecke der Beleuchtung und Beheizung menschlicher Wohnräume und Maschinen.

LIEBIG<sup>5)</sup> hat berechnet, dass wenn 1 Milliarde Menschen auf der Erde lebten, und diese bis zum äussersten Reste an Sauerstoff leben könnten, wenn ferner ausser der durch sie gesetzten Sauerstoffconsumption doppelt so viel Sauerstoff auf andere Weise gebunden würde (durch Verbrennung, Fäulniss u. s. w.) und kein Ersatz von Sauerstoff stattfinden würde, der Sauerstoffgehalt der ganzen Atmosphäre nach 800,000 Jahren völlig aufgezehrt wäre. Ein etwas geringerer Zeitraum berechnet sich nach HOPPE-SEYLER<sup>6)</sup> in folgender Weise. Die durch Verbrennung der im Laufe eines Jahres geförderten Steinkohle<sup>7)</sup> gebundene Menge Sauerstoff stellt den Gehalt einer Luftsäule über fast 183 Quadratkilometer Erdoberfläche dar. Die durch die Respiration einer Milliarde Menschen<sup>8)</sup> während der gleichen Zeit weggenommene Sauerstoffmenge wird repräsentirt durch eine Luftsäule von ca. 100 Quadratkilometer Querschnitt

1) ANGUS SMITH, On air and rain. London 1872. p. 77.

2) BROCKMANN, Die Krankheiten des Oberharzes. S. 30.

3) BUNSEN, Gasometrische Methoden. Braunschweig. S. 88.

4) POLECK, Die chemische Natur der Minengase. Berlin 1867.

5) LIEBIG, Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur u. s. w. 7. Aufl. S. 18.

6) HOPPE-SEYLER, Physiologische Chemie. Berlin 1881. S. 43.

7) Nach HULL (The Coalfields of the World, London 1873) beträgt die jährlich geförderte Menge Steinkohle ca. 180 Millionen Tonnen (1 Tonne = 1000 Kilo). Der Kohlenstoffgehalt derselben wurde zu 78, der Wasserstoffgehalt zu 4 ‰ angenommen.

8) Ein Erwachsener consumirt im Tage ca. 700 Gr. Sauerstoff, im Jahre also 250 Kilo.



und der Höhe der Atmosphäre. Nimmt man nun an, dass der Sauerstoffverbrauch durch Thiere, chlorophyllfreie Pflanzen, Fäulniss- und Verwesungsvorgänge doppelt, ja selbst dreifach so gross sei als der Verbrauch Seitens der Menschen und der Kohle, welche zusammen den Sauerstoff einer Luftsäule von 283 Quadratkilometer Querschnitt aufzehren würden, so kann, da die Oberfläche der Erde 9,280000 Quadratmeilen oder 510 Millionen Quadratkilometer beträgt, im ungünstigsten Falle erst nach 450,000 Jahren die ganze Sauerstoffmenge aufgezehrt werden.

Es könnten also unmöglich Besorgnisse über eine der gegenwärtigen Bevölkerung der Erde gefahrdrohende Abnahme des Sauerstoffgehaltes der Luft selbst innerhalb eines Jahrhunderts entstehen, auch wenn keine Quelle bekannt wäre, aus welcher der continuirlich sich ergebende Verlust an Sauerstoff wieder ersetzt wird; eine solche aber existirt, es ist der Stoffwechsel der chlorophyllbildenden Pflanzen, welche bei Tage Sauerstoff ausscheiden, den sie aus Kohlensäure oder anderen Verbindungen des Sauerstoffes in ihrem Organismus freigemacht haben, er allein genügt, den Sauerstoffgehalt der Luft für immer auf seinem gegenwärtigen Bestande zu erhalten.

Der Stickstoff der Luft,  $N_2$ , ist ein höchst indifferentes Gas, dessen Menge durchschnittlich 79,1 Volumprocente ausmacht. Kommen Aenderungen dieses Verhältnisses vor, so ist der Grund hierfür niemals in einer Entwicklung von Stickstoffgas, im Falle mehr als 79,1 Procente desselben gefunden werden, oder in einer Absorption oder Bindung desselben im Falle einer Herabsetzung obigen Procentatzes zu suchen, sondern in einer anderweitigen Veränderung der Luft. Wird z. B. der Luft Sauerstoff entzogen, ohne dass eine Abgabe anderer Gase an sie erfolgte, so steigt das Verhältniss des Stickstoffes an, werden dagegen der Luft Gase beigemischt, so sinkt die relative Menge des Stickstoffes entsprechend. Auf den Kreislauf des Stickstoffes in der Natur soll an einer anderen Stelle noch des Näheren zurückgekommen werden (vergl. Salpetersäure, Ammoniak).

## 2. Wasserdampf.

Die atmosphärische Luft enthält an allen Punkten der Erdoberfläche Wasser in Dampfform beigemischt, dessen Mengen nach Ort und Zeit beträchtlichen Schwankungen unterliegen. Die von der Sonne der Erde zugesandte Wärme unterhält einen beständig andauernden Kreislauf des Wassers, indem sie Wasser zur Verdunstung bringt, welches sich in der Atmosphäre verbreitet, aus derselben aber wieder durch Abkühlung, durch Vermischung kalter und warmer feuchter Luftmassen oder durch die Berührung mit kalten Körpern in flüssiger Form ausgeschieden wird. Das Vorhandensein oder Feh-

len von ausgedehnten Wasserflächen einerseits, die verschiedene Intensität der Erwärmung nach Tages- und Jahreszeit, dazu noch die Bewegung der Luft bedingen einen ungemein mannigfaltigen Wechsel der Feuchtigkeitsverhältnisse der Luft, welcher sowohl direct als indirect zur Einwirkung auf den menschlichen Körper gelangt und daher eingehende Beachtung Seitens der Hygiene verdient.

Um die Feuchtigkeitsverhältnisse der Luft zum Ausdrucke zu bringen, bedient man sich verschiedener Bezeichnungen, deren Sinn kurz folgender ist. Wird die Luftfeuchtigkeit durch die Anzahl der Grammen Wasser, welche in 1 Cbm. Luft in Dampfform enthalten sind, ausgedrückt, so erhält man die absolute Feuchtigkeit der Luft; dieselbe kann bei jeder Temperatur zwischen 0 und einer gewissen oberen Grenze schwanken, welche von dem jeweiligen Temperaturgrade abhängig ist; je höher die Temperatur ist, um so mehr Wasser kann die Luft in Dampfform auf-

TABELLE I.  
Höchste mögliche absolute Feuchtigkeit <sup>1)</sup>.

Temp.	Grm. Wasser pro 1 Cbm.	Temp.	Grm. Wasser pro 1 Cbm.	Temp.	Grm. Wasser pro 1 Cbm.
— 20	1,064	0	4,874	20	17,164
— 19	1,150	+ 1	5,214	21	18,204
— 18	1,237	2	5,574	22	19,286
— 17	1,346	3	5,963	23	20,450
— 16	1,453	4	6,370	24	21,604
— 15	1,571	5	6,791	25	22,867
— 14	1,700	6	7,260	26	24,190
— 13	1,840	7	7,734	27	25,582
— 12	1,974	8	8,252	28	27,004
— 11	2,133	9	8,793	29	28,529
— 10	2,300	10	9,372	30	30,139
— 9	2,488	11	9,976	31	31,807
— 8	2,674	12	10,617	32	33,558
— 7	2,883	13	11,284	33	35,352
— 6	3,111	14	12,018	34	37,275
— 5	3,360	15	12,763	—	—
— 4	3,614	16	13,552	—	—
— 3	3,902	17	14,391	—	—
— 2	4,194	18	15,329	—	—
— 1	4,522	19	16,203	—	—

nehmen, wie Tabelle I angibt, welche die höchste mögliche absolute Feuchtigkeit für jeden Temperaturgrad angibt.

Hat die Luft ihre höchste absolute Feuchtigkeit erreicht, so bezeichnet

1) Die in den verschiedenen Lehrbüchern der Physik, Meteorologie, Hygiene u. s. w. sich findenden Tabellen differiren fast alle von einander. Die Wahl obiger Tabelle für das Handbuch erschien dadurch angezeigt, dass dieselbe im Lehrbuche der hygienischen Untersuchungsmethoden von C. FLÜGGE, Leipzig 1881, welches bezüglich der Methoden als Ergänzung vorliegenden Handbuches dienen kann, enthalten ist (S. 570).

man sie als gesättigt, da eine weitere Aufnahme von Wasser nicht mehr möglich ist. Wird solche Luft erwärmt, ohne weitere Zuführung von Wasserdampf, so verliert sie ihren Zustand der Sättigung, wird sie dagegen abgekühlt, so muss ein Theil des in ihr enthaltenen Wasserdampfes in die flüssige Form übergehen, es entstehen so Nebel, Wolken, Thau, Reif u. s. w. und die Luft bleibt dabei gesättigt. Luft, welche nicht vollständig mit Wasser gesättigt ist, kann durch Abkühlung endlich auf ihren Sättigungszustand gebracht werden; die Temperatur, bis zu welcher sie hierbei erniedrigt werden muss, wird als Thaupunkt bezeichnet, da die geringste weitere Abkühlung unter diesem Temperaturgrad die Ausscheidung von tropfbar-flüssigem Wasser zur Folge hat.

Bringt man die jeweilig beobachtete absolute Feuchtigkeit der Luft in ein Verhältniss zur grössten möglichen absoluten Feuchtigkeit derselben für den gleichzeitig beobachteten Temperaturgrad, indem man berechnet, wie viele Procente der letzteren die erstere beträgt, so gelangt man zu dem Ausdrucke der relativen Feuchtigkeit. Fand man beispielsweise bei einer Temperatur von 15°, gemäss welcher die Luft 12,763 Grm. Wasser in Dampfform aufnehmen könnte, eine absolute Feuchtigkeit von

9 Grm. pro Cbm., so beträgt die relative Feuchtigkeit  $\frac{9 \times 100}{12.763} = 70,52\%$ ;

man sagt: die Luft ist zu 70,52 Procenten mit Wasser gesättigt. Es lässt sich aber auch noch eine andere Beziehung der absoluten Feuchtigkeit zur vollkommenen Sättigung der Luft für die entsprechende Temperatur feststellen, nämlich die Differenz beider, diese wird als Sättigungsdeficit bezeichnet, eine Grösse, welcher besondere Wichtigkeit für die hygienische Betrachtungsweise zukommt, da sie sofort eine Vorstellung von der Möglichkeit der Verdunstung von Wasser überhaupt und der Grösse derselben bietet<sup>1)</sup>. Man ist bis in die neueste Zeit gewohnt gewesen, bei Erörterungen über die Luftfeuchtigkeit und deren hygienische Bedeutung hauptsächlich die relative Feuchtigkeit zu berücksichtigen; ein einfaches Beispiel ergibt die Unzulänglichkeit eines solchen Verfahrens, denn berechnet man für verschiedene Temperaturgrade innerhalb der Tabelle I die absolute Feuchtigkeit und das Sättigungsdeficit bei gleicher relativer Feuchtigkeit beispielsweise von 60%, so ergibt sich folgende Tabelle II.

TABELLE II.

Temperatur ° C.	Relative Feuchtigkeit %	Absolute Feuchtigkeit	Sättigungs- deficit
— 20	60	0,638	0,426
— 10	60	1,380	0,920
0	60	2,924	1,950
+ 10	60	5,623	3,749
+ 20	60	10,298	6,866
+ 30	60	18,083	12,056

Es wird daraus ersichtlich, wie wenig die relative Feuchtigkeit allein

1) Vergl. FLÜGGE, Lehrbuch der hygien. Untersuchungsmethoden. S. 89.

geeignet ist, eine richtige Vorstellung von den Feuchtigkeitsverhältnissen einer Luft zu geben; nur die gleichzeitige Berücksichtigung der Temperatur der Luft, wie sie bei Berechnung des Sättigungsdeficits wirklich geschieht, kann einen für die hygienische Betrachtungsweise brauchbaren Ausdruck für jene ermöglichen. Häufig wird die Feuchtigkeit der Luft auch durch die Spannung des in ihr enthaltenen Wasserdampfes, die Tension oder den Dunstdruck, in Millimetern einer Quecksilbersäule angegeben, welcher dieser Tension das Gleichgewicht zu halten vermag. Auch die Tension, wie die absolute Feuchtigkeit kann bei einer bestimmten Temperatur eine gewisse Grenze nicht übersteigen, dieselbe liegt aber um so höher, je höher die Temperatur der Luft ist. Tabelle III enthält die Werthe für die höchste Tension für jeden Temperaturgrad zwischen  $-2^{\circ}$  und  $+34^{\circ}$  und noch für die Temperaturen  $-5$ ,  $-10$ ,  $-15$  und  $-20^{\circ}$  nach REGNAULT <sup>1)</sup>.

TABELLE III.

Tension des Wasserdampfes der gesättigten Luft.

Temp. °	Tension Mm.	Temp. °	Tension Mm.	Temp. °	Tension Mm.	Temp. °	Tension Mm.
— 20	0,93	5	6,53	16	13,54	27	26,51
— 15	1,40	6	7,00	17	14,42	28	28,10
— 10	2,09	7	7,49	18	15,36	29	29,78
— 5	3,11	8	8,02	19	16,35	30	31,55
— 2	3,96	9	8,57	20	17,39	31	33,40
— 1	4,27	10	9,19	21	18,50	32	35,36
0	4,60	11	9,79	22	19,66	33	37,41
+ 1	4,94	12	10,46	23	20,89	34	39,57
+ 2	5,30	13	11,16	24	22,18	—	—
3	5,69	14	11,91	25	23,55	—	—
4	6,10	15	12,70	26	24,99	—	—

Vergleicht man vorstehende Tabelle III mit Tabelle I, so ergibt sich die Thatsache, dass die Millimeter Dunstdruck mit den Grammen absoluter Feuchtigkeit für gleiche Temperatur ziemlich übereinstimmen; es ist daher in manchen Fällen angänglich Tension und absolute Feuchtigkeit als identisch zu betrachten und können Beobachtungsreihen über die Tension des Wasserdampfes ebenso gut als solche über die absolute Feuchtigkeit für die Betrachtung der Schwankungen und der regelmässigen Bewegungen der Luftfeuchtigkeit verwendet werden.

Zur Illustration der Bedeutung der eben erwähnten Termini möge folgendes Beispiel dienen:

Es sei durch directe Beobachtung gefunden worden, dass in 1 Cbm. Luft von  $10^{\circ}$  C. 2,2 Grm. Wasser in Dampfform vorhanden waren; in diesem Falle ist:

<sup>1)</sup> Aus BUNSEN, Gasometrische Methoden, Braunschweig 1877, S. 357, und MÜLLER, Kosmische Physik. S. 682.



1. die absolute Feuchtigkeit . . . . . = 2,2 Gr. W.
2. die höchste absolute Feuchtigkeit für Luft  
von 10° C. . . . . = 9,372 Gr. W.
3. das Sättigungsdeficit . . . . . = 7,172 „ W.
4. die relative Feuchtigkeit . . . . . = 23,5 %
5. der Thaupunkt . . . . . = - 2° C.
6. die Tension des Wasserdampfes . . . . . = 3,96 Mm. Hg.

Die Feuchtigkeitsverhältnisse der Luft richten sich, wie schon erwähnt, in erster Linie nach den Wärmeverhältnissen und den Mengen von Luft und Wasser, welche mit einander in Berührung stehen. Der beständige Wechsel der Erwärmung, welchen jeder Ort auf der Erdoberfläche im Laufe des Tages und des Jahres erfährt, ist daher auch von Einfluss auf die Menge des Wasserdampfes in der Luft, und so lassen sich bei fortgesetzten Beobachtungen gewisse Regelmässigkeiten in den Aenderungen der Feuchtigkeit der Luft beobachten; man spricht von täglicher und jährlicher Periode oder Gang der absoluten oder relativen Feuchtigkeit oder des Sättigungsdeficits.

Was zunächst die tägliche Periode der absoluten Feuchtigkeit anlangt, so findet man im Allgemeinen eine Bewegung derselben parallel mit dem Verlaufe der Temperatur, jedoch bringt die ungleiche Vertheilung von Wasser und Land auf der Erdoberfläche wesentliche Differenzen hervor; an der Meeresküste und auf Inseln steigt die absolute Feuchtigkeit mit zunehmender Wärme an, erreicht mit dieser oder einige Stunden später ihr Maximum und fällt nun wieder ab, um vor Sonnenaufgang ihr Minimum zu erreichen. Das Meer ist beständig thätig der über ihm befindlichen Luft Wasser in Dampfform zuzuführen, um so mehr, je mehr es selbst von der Sonne erwärmt wird; es vermag daher in jenen Gegenden die Verdunstung mit der Zunahme der Temperatur Schritt zu halten. Anders in Binnenländern; hier entsteht, wenigstens in der heissen Jahreszeit, ein aufsteigender Luftstrom, welcher das bereits verdunstete Wasser entführt; die relativ geringen vorhandenen Wasserflächen sind nicht im Stande genügend Wasser zu verdunsten und so sinkt die sich mit Sonnenaufgang erhebende Curve der absoluten Feuchtigkeit gegen Mittag ab, steigt aber im Laufe des Nachmittags wieder an, da jetzt der aufsteigende Luftstrom verschwindet, und bildet gegen Abend ein zweites Maximum, um nun während der Nacht wieder zu sinken und vor Sonnenaufgang ihr zweites Minimum zu erreichen.

Um diese Verhältnisse zu illustriren, wurden in Tabelle IV die Resultate der Beobachtungen über die tägliche Periode der Feuch-

tigkeit der Luft an mehreren Orten Deutschlands zusammengestellt, und zwar für Apenrade und München nach Mittelzahlen für das ganze Jahr, für München noch überdies nach Mittelzahlen für die Sommer- und Wintermonate und für Halle nach Beobachtungen aus dem heissesten Monate. Aus dem oben angegebenen Grunde der nahezu völligen Uebereinstimmung von Millimetern Dunstdruck und Grammen Wasser pro Cubikmeter Luft wurde auf eine Umrechnung der ersteren auf letztere verzichtet. Die Zahlen der Tabelle IV sind in Fig. 1 graphisch dargestellt, um einen besseren Ueberblick zu gewähren.

TABELLE IV.

Tägliche Periode der Tension des Wasserdampfes in Mm.

Zeit	Apenrade Jahr <sup>1)</sup>	München Jahr <sup>2)</sup>	München Sommer <sup>2)</sup>	München Winter <sup>2)</sup>	Halle Juli <sup>3)</sup>
Mitternacht	7,69	6,71	10,11	3,96	11,33
2 Uhr	7,58	6,55	9,84	3,89	11,05
4 "	7,61	6,45	9,69	3,84	11,21
6 "	7,85	6,55	10,12	3,86	11,68
8 "	8,41	6,99	10,85	3,89	12,11
10 "	8,92	7,03	11,05	4,06	11,89
Mittag	9,30	7,34	11,06	4,27	11,62
2 Uhr	9,42	7,29	10,90	4,33	11,32
4 "	9,19	7,22	10,86	4,22	11,18
6 "	8,75	7,25	11,08	4,12	11,36
8 "	8,17	7,06	10,86	3,99	11,76
10 "	7,92	7,89	10,53	3,97	11,67

Die tägliche Periode der absoluten Feuchtigkeit, resp. des Dunstdruckes in der in der Nähe des Meeres gelegenen Stadt Apenrade wird durch eine eingipfelige Curve dargestellt, deren höchste Spitze mit der Zeit des Temperaturmaximums zusammenfällt (2 Uhr Mittags), während ihr tiefster Punkt in die Zeit von Sonnenaufgang fällt. Ebenso verläuft die Curve für München im Binnenlande im Winter; während des Sommers entsteht jedoch zur Zeit der intensivsten Erwärmung eine Depression, welche erst gegen Abend wieder verschwindet und dem zweiten, geringeren Maximum Platz macht. Diese mittägige Depression macht sich auch in der Jahrescurve für

1) SCHMID, Lehrbuch der Meteorologie in KARSTEN, Allgemeine Encyclopädie der Physik. Leipzig 1860. S. 618.

2) Beobachtungen der meteor. Stationen im Königr. Bayern. 1882. Hft. 4 (noch nicht erschienen).

3) MÜLLER's Kosmische Physik. 1875. S. 689.

München noch deutlich bemerkbar, sie tritt aber am deutlichsten hervor, wenn, wie es für Halle geschehen ist, nur für einen einzigen Monat (Juli) die tägliche Periode zur Darstellung gelangt.

Es wird aus Fig. 1 überdies auch sofort ersichtlich, dass zur heißen Jahreszeit (München-Sommer) die Luft absolut bedeutend mehr Wasser enthält als in der kalten (München-Winter), sowie dass die Luft an der Meeresküste reicher an Wasser ist als im Binnenlande (Apenrade-Jahr zu vergleichen mit München-Jahr).

Anders als die absolute Feuchtigkeit verhält sich die relative Feuchtigkeit bezüglich ihrer täglichen Periode, wie Tabelle V<sup>1)</sup> und Fig. 2 deutlich zeigen.

Die relative Feuchtigkeit nimmt bei zunehmender Erwärmung der Luft ab, da die Verdunstung mit der Erhöhung der Temperatur nicht in dem Maasse Schritt zu halten vermag, dass die Luft während des

Fig. 1.  
Tägliche Periode der Tension des  
Wasserdampfes.



TABELLE V.

Täglicher Gang der relativen Feuchtigkeit.

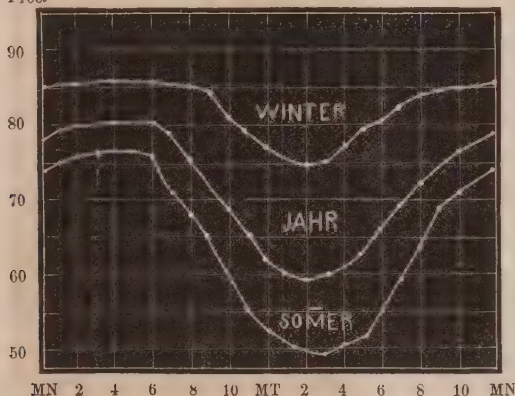
Zeit	Wien Jahr ‰	Wien Sommer ‰	Wien Winter ‰
Mitternacht	78,7	74,1	85,2
2 Uhr	80,0	75,9	85,4
4 =	80,7	76,8	85,6
6 =	80,8	75,9	85,6
8 =	75,8	67,8	85,1
10 =	68,9	59,6	81,5
Mittag	62,5	52,7	77,2
2 Uhr	59,4	49,3	74,9
4 =	61,2	50,2	77,7
6 =	66,5	55,0	81,4
8 =	72,4	63,9	83,5
10 =	76,8	71,3	84,7

1) Sitzungsberichte der k. Acad. der Wissensch. in Wien. Bd. 83.

ganzen Tages gleichmässig mit Dampf gesättigt wäre; sie sinkt, bis die Temperatur ihr Maximum erreicht hat; mit Abnahme der Temperatur erhebt sie sich jedoch wieder und erreicht wieder ihr Maximum vor Sonnenaufgang. Das Abfallen der Curven am Morgen richtet

Fig. 2.

Tägliche Periode der relativen Feuchtigkeit in Wien.  
Proc.



sich nach der Zeit des Sonnenaufganges, der im Sommer früher als im Winter erfolgt. Ueberdies lehrt auch ein Blick auf Fig. 2, dass im Sommer infolge der intensiveren Verdunstung die Schwankungen in der relativen Feuchtigkeit viel bedeutender sind als im Winter. Nach obiger Tabelle beträgt die Differenz der Extreme für den Sommer 27,5 %, für den Winter nur 10,7 % pro Tag.

Ebensolche Differenzen findet man aber auch beim Vergleiche der täglichen Perioden verschiedener Orte, doch bleibt die Curve derselben überall eine eingipfelige, wie sie in Fig. 2 zur Darstellung gelangte.

TABELLE VI.

Jährliche Periode der Tension des Wasserdampfes in Mm.

	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
Utrecht <sup>1)</sup>	4,84	4,97	5,63	6,39	8,46	9,43	10,22	11,21	10,35	7,83	6,37	5,47
München <sup>2)</sup>	3,91	4,09	4,67	5,94	7,99	10,10	10,89	10,76	8,91	7,19	5,13	4,06
Nertschinsk <sup>3)</sup>	0,43	0,54	1,46	2,79	4,20	8,10	11,30	9,50	5,67	2,79	1,28	0,52

Aus dem Vorhergehenden lässt sich leicht ersehen, welchen Gang das Sättigungsdeficit der Luft im Laufe des Tages machen wird; da im Allgemeinen die Temperatur von Sonnenaufgang an bis Mittag steigt und dann wieder abfällt, um Nachts ihr Minimum zu erreichen, und da andererseits die relative Feuchtigkeit in umgekehrtem Sinne sich bewegt, so ist zu erwarten, dass eine Curve des Sättigungsdefi-

1) SCHMID, Meteorologie. S. 622.

2) Privatmittheilung aus der K. B. meteorol. Central-Station in München.

3) SCHMID, Meteorologie. S. 626.



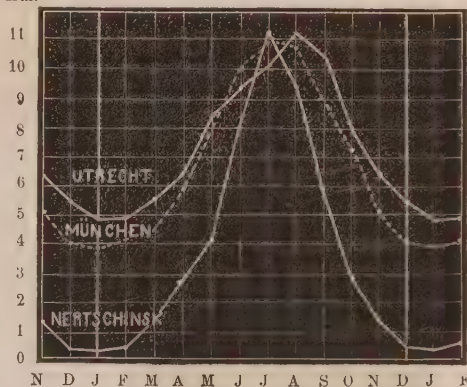
eits in gleichem Sinne mit der Temperatur verlaufen wird; denn Ansteigen der Temperatur und Verminderung der relativen Feuchtigkeit bedingen jedes für sich schon eine Zunahme des Sättigungsdeficits, umso mehr erst, wenn diese beiden Factoren gleichzeitig wirken, wie es z. B. während des Vormittags der Fall ist. Umgekehrt müssen dann Abnahme der Temperatur und Zunahme der relativen Feuchtigkeit während des Nachmittags und eines Theiles der Nacht ein Sinken der Curve des Sättigungsdeficits veranlassen.

Aus den Beobachtungen des täglichen Ganges der Feuchtigkeitsverhältnisse der Luft lassen sich Mittelwerthe für jeden einzelnen Tag berechnen, sogenannte Tagesmittel; es ist hierzu nicht unbedingt nöthig, dass stündliche Messungen der absoluten oder relativen Feuchtigkeit angestellt werden; man erhält auch aus weniger Beobachtungen, welche geeignet über den Tag vertheilt sind (3 — 4), brauchbare Durchschnittswerthe. Die Summe aller Tagesmittel eines Monats dividirt durch die Zahl der Tage gibt alsdann einen Mittelwerth für die Feuchtigkeitsverhältnisse dieses Monats, das Monatsmittel; im Laufe eines Jahres erhält man somit eine Reihe von 12 Monatsmitteln, welche den jährlichen Gang oder die jährliche Periode der relativen oder absoluten Feuchtigkeit repräsentirt.

Für die absolute Feuchtigkeit sind in Tabelle VI drei solcher Reihen angegeben, welche in Fig. 3 graphisch dargestellt wurden; es geht daraus hervor, dass entsprechend dem jährlichen Gange der Temperatur die absolute Feuchtigkeit während der warmen Monate des Jahres grösser ist als im Winter, das Maximum wird in den heissen Sommermonaten Juli, August erreicht, während das Minimum in die Wintermonate December, Januar und Februar fällt. Der tiefere Abfall der Curve für Nertschinsk — in Sibirien in der Mitte des asiatischen Welttheiles gelegen — im Vergleiche mit München und Utrecht hängt mit dem tieferen Absinken der Temperatur daselbst zusammen. Die mittlere Temperatur für Nertschinsk beträgt näm-

Fig. 3.

Jährliche Periode der Tension des Wasserdampfes.  
Mm.



lich <sup>1)</sup> während der Monate December, Januar und Februar — 27,1, — 29,6 und — 24,1 ° C., für München dagegen + 1,6, — 1,4 und + 0,5 ° C., während der Monat Juli fast gleiche mittlere Temperatur aufweist (München 18,1 ° C. und Nertschinsk 17,8 ° C.).

Umgekehrt verläuft die jährliche Periode der relativen Feuchtigkeit, für welche in Tabelle VII und Fig. 4 die Städte Königsberg (am Meere) und Wien (im Binnenlande) als Beispiele gewählt wurden.

TABELLE VII.

## Jährliche Periode der relativen Feuchtigkeit in Procenten.

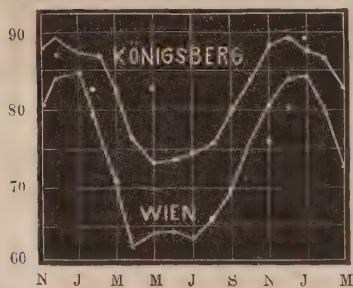
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Königsberg <sup>1)</sup>	87,5	87,3	82,8	76,4	73,3	73,6	74,9	75,9	80,2	84,1	87,8	89,1
Wien <sup>2)</sup>	83,9	79,6	71,4	62,7	64,2	64,0	62,8	66,1	69,1	76,2	80,3	83,5

Die relative Feuchtigkeit ist am grössten im Winter, November, December, Januar, und erreicht ihr Minimum im Sommer, April, Mai, Juni und Juli. Im Sommer ist zur Sättigung der Luft mit Dampf die Verdunstung einer ungleich grösseren Menge von Wasser nöthig,

Fig. 4.

Jährliche Periode der relativen Feuchtigkeit.

Proc.



als im Winter, weshalb während letzterer Jahreszeit die relative Feuchtigkeit dem Sättigungspunkte der Luft viel näher kommt, als im Sommer. Da die Verdunstung an der Meeresküste von viel bedeutenderen Wasserflächen aus erfolgen kann als im Binnenlande, so erklärt es sich auch, warum die relative Feuchtigkeit während des ganzen Jahres in Königsberg höher ist als in Wien.

Das Verhalten von Temperatur, absoluter Feuchtigkeit, relativer Feuchtigkeit und Sättigungsdeficit während des ganzen Jahres zu einander wurde in Tabelle VIII, Fig. 5, für einen einzigen Ort, Bayreuth, zusammengestellt. Es lagen hierzu die 27jährigen Beobachtungen BLUMRÖDERS <sup>3)</sup> über Temperatur, relative Feuchtigkeit und Tension

1) SCHMID, Lehrbuch der Meteorologie. S. 344 u. 354.

2) Nach HANN: Ueber den Gang einiger meteor. Elemente in Wien, Sitzungsberichte der K. Acad. d. Wissensch. in Wien. Bd. 83. II. Februarheft.

3) Beobachtungen der meteor. Stationen im Königr. Bayern von BEZOLD und LANG. München 1879. Jahrg. I. S. 161.

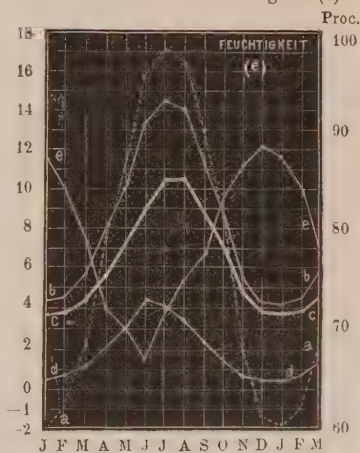
vor, woraus sich die höchste absolute Feuchtigkeit, die absolute Feuchtigkeit als auch das Sättigungsdeficit berechnen liessen. Da Tension und berechnete absolute Feuchtigkeit nahezu congruent sind, wurde die Curve der ersteren gar nicht in die Fig. 5 eingezeichnet. Wie ersichtlich, hat nur die Curve der relativen Feuchtigkeit einen der Temperatur entgegengesetzten Verlauf, während alle anderen Curven mit ihr in gleichem Sinne sich bewegen (Tab. VIII).

Die im Vorausgehenden erörterten Regelmässigkeiten in den Aenderungen der Feuchtigkeitsverhältnisse der Luft treten jedoch nicht jederzeit so deutlich zu Tage, wie in den angeführten Beispielen; diese sind das Ergebniss vieler jahrelang fortgesetzter Beobachtungen und daraus gewonnener Durchschnittswerthe. Stellt man z. B. die stündlichen Beobachtungen jedes einzelnen Tages graphisch dar, so findet man selten zwei vollständig congruente Curven, ebenso wie auch die jährliche Periode nicht jedes Jahr mit dem in anderen Jahren beobachteten Gange übereinstimmt. Es sind viele Factoren mit im Spiele, welche die grössten Unregelmässigkeiten in dem Gange jener Erscheinungen hervorrufen. So vor Allem die Winde. Luftmassen, welche in den Tropen über dem Meere aufsteigen, sind mit Feuchtigkeit beladen, während in gleicher Breite, z. B. über der Sahara aufsteigende Luftströme sehr trocken sind, da dort kein Wasser zur Befechtung der Luft vorhanden ist. Gehen die aufgestiegenen Luftmassen an anderen Stellen der Erdoberfläche nieder, so tritt daselbst in dem einen Falle ein sehr feuchter, im anderen ein sehr trockener Wind auf, ersterer bringt Niederschläge

und schlechtes Wetter, letzterer heiteres Wetter, klaren Himmel. Um nur ein Beispiel hierfür anzuführen, so zerfällt das Jahr in den Küstengebieten von Indien in eine Regenzeit und eine regenlose Zeit, während der ersteren Periode weht der Wind vom Meere her, kommt also reich mit Feuchtigkeit beladen an und verursacht nun reichliche Regengüsse; während der zweiten Periode dagegen bewegen sich Luftmassen aus dem Inneren Asiens über Indien nach dem Meere

Fig. 5.

Jährliche Periode der Temperatur (a), der höchsten absoluten Feuchtigkeit (b), der wirl. beobachteten absolut. Feuchtigkeit (c), des Sättigungsdeficit (d) und der relativen Feuchtigkeit (e).





hin, diese sind trocken, da im Inneren des grossen Continentes keine grossen Wasserflächen vorhanden sind, also die Verdunstung nur eine sehr geringe ist, wozu noch der weitere Umstand hinzukommt, dass die Luft aus kälteren Gegenden bei ihrem Vordringen nach dem Süden sich höher erwärmt und somit, da keine ergiebige Verdunstung erfolgt, einen niedrigen Sättigungsgrad erreicht. (Vergl. Abschnitt Niederschläge.)

TABELLE VIII.

Jährliche Periode der Temperatur, des Dunstdruckes, der relativen Feuchtigkeit und des Sättigungsdeficits in Bayreuth.

Monat	Temp. ° C.	Höchste absol. Feuchtigk. <sup>1)</sup> Grm.	Relative Feuchtigk. %	Absolute Feuchtig- keit <sup>1)</sup> Grm.	Sättigungs- Deficit Grm.	Tension Mm.
Januar	— 1,9	4,23	87,4	3,70	0,53	3,73
Februar	— 0,9	4,56	84,0	3,83	0,73	3,81
März	2,3	5,69	78,2	4,45	1,24	4,32
April	7,5	7,99	72,0	5,75	2,24	5,50
Mai	11,6	10,36	70,4	7,29	3,07	7,16
Juni	15,8	13,39	67,2	9,00	4,39	9,35
Juli	17,2	14,58	71,8	10,47	4,11	10,35
August	16,6	14,06	74,8	10,52	3,54	10,22
September	12,8	11,15	77,7	8,66	2,49	8,56
October	8,1	8,31	83,7	6,96	1,35	6,79
November	1,9	5,54	86,2	4,78	0,76	4,65
December	— 1,4	4,39	88,2	3,87	0,52	3,89

Einen mächtigen Einfluss auf die Luftfeuchtigkeit üben grosse Gebirgsketten aus; an ihnen kühlt sich wärmere Luft ab, erreicht ihren Taupunkt und gibt, wenn sie noch unter diesen sinkt, ihre Feuchtigkeit in Form von Niederschlägen ab. Eines der besten Beispiele für diese Wirkung der Gebirge ist der Föhn, ein Wind, welcher im Süden der Alpen seinen Ursprung hat und mit Feuchtigkeit beladen an dem Südabhange der Alpen aufsteigt. An den Gipfeln der Berge kühlt er sich so bedeutend ab, dass heftige Regengüsse und Schneefälle daselbst erfolgen und die Pässe der südwestlichen Schweiz häufig unter Schnee begraben werden; diese Condensation von Wasser erreicht endlich eine solche Grösse, dass, nachdem der Wind die Alpen überstiegen hat, er als ein sehr trockner Wind in die Thäler des Rheins, der Linth, Reuss, Aar und Rhone einfällt, wobei noch die Erwärmung, die er infolge der Verdichtung beim Niedersteigen erleidet, ein weiteres Absinken seiner relativen Feuchtigkeit verursacht. Nicht blos wegen der grossen Geschwindigkeit,

1) Berechnet mit Hülfe von Tabelle I. S. 12.



mit welcher der Föhn anlangt, sondern auch wegen seines geringen Feuchtigkeitsgehaltes, infolge dessen er Alles, also namentlich die aus Holz bestehenden Theile der Gebäude, in kürzester Zeit austrocknet, müssen in Glarus beim Eintreffen desselben zur Vermeidung von Feuersgefahr alle Feuer gelöscht werden.

Auch die Bewaldung des Bodens ist von Einfluss auf die Feuchtigkeit der Luft. Zwar ist, wie EBERMAYER<sup>1)</sup> nachgewiesen hat, die absolute Feuchtigkeit der Waldluft nicht viel grösser als die der Luft im Freien, da aber die Temperatur im Innern des Waldes eine geringere ist (wenigstens im Sommer), so ist die Sättigung der Luft mit Wasser dort eine höhere als hier, wie aus folgender Tabelle IX hervorgeht.

TABELLE IX.

## Relative Feuchtigkeit der Luft.

	Frühling	Sommer	Herbst	Winter
Im Freien . . . .	74,96	71,92	82,72	84,19 ‰
Im Walde . . . .	80,66	81,20	87,94	89,43 ‰
Differenz . . . .	5,70	9,28	5,22	5,24 ‰

Auch Beobachtungen von FAUTRAT<sup>2)</sup> bestätigen den höheren relativen Feuchtigkeitsgehalt der Luft im Walde.

FAUTRAT fand im Mittel:

TABELLE X.

## Relative Feuchtigkeit der Luft.

	Im Freien	Im Walde
Februar 1877 . . . . .	71	88 ‰
März „ . . . . .	63	79 ‰
April „ . . . . .	53	65 ‰
Mai „ . . . . .	52	62 ‰
Juni „ . . . . .	48	57 ‰
Juli „ . . . . .	49	66 ‰

Die Folge dieses Verhältnisses ist denn auch eine geringere Verdunstung im Inneren des Waldes, verglichen mit der Grösse der Verdunstung auf freiem Felde. Die Verdunstungsgrösse wird gewöhnlich durch die Höhe der von irgend einer Wasseroberfläche verdunsteten Wassermenge (in Millimetern) angegeben. Nach Untersuchungen von BREITENLOHNER<sup>3)</sup> betrug dieselbe während des Monats August in fünf verschiedenen Waldbeständen der mährisch-ungarischen Grenzkarpathen verglichen mit der Luft im Freien:

1) EBERMAYER, Die physikalischen Einwirkungen des Waldes auf Luft und Boden. Aschaffenburg 1873. S. 151.

2) Comptes rendues. 1877. Bd. 85. p. 340.

3) Centralblatt f. das gesammte Forstwesen. 1877. S. 325.

		a) Im Walde	b) Im Felde	c) Differenz
in Bestand	1 . .	26,5	66,3	39,8 Mm.
"	2 . .	18,3	59,0	40,7 "
"	3 . .	23,2	51,6	28,4 "
"	4 . .	30,3	61,8	31,5 "
"	5 . .	37,7	61,8	24,1 "

Ebensolche Resultate wurden erhalten durch die forstlich meteorologischen Stationen in Preussen und den Reichslanden <sup>1)</sup>, deren Resultate in Tab. XI folgen.

Die Unterschiede zwischen Waldluft und Luft im Freien sind demnach sehr bedeutende, meist ist die Verdunstung im Freien 2 bis 3 mal so gross als im Walde. Die Ursache hierfür liegt nicht ausschliesslich in der tieferen Temperatur der Waldluft, sondern darin, dass die Waldbäume wie alle Pflanzen Wasser verdunsten, welches der Waldluft beigemischt, deren Feuchtigkeit erhöht und dadurch die Verdunstungsgrösse im Innern von Waldbeständen herabsetzt.

TABELLE XI.

## Verdunstungsgrösse während eines Jahres.

Stationen	a) Im Walde	b) Im Freien	c) Differenz
Eberswalde . . . . .	189,4	422,7	233,3 Mm.
Friedrichsrode . . . . .	134,9	385,4	250,5 "
Hollerath . . . . .	127,9	244,3	116,4 "
Carlsberg . . . . .	108,2	304,4	196,2 "
Hagenau . . . . .	155,7	303,1	147,4 "
Melkerei . . . . .	127,0	308,5	181,5 "
Neumath . . . . .	163,3	447,1	283,8 "
Fritzen . . . . .	109,7	262,1	152,4 "
Hadersleben . . . . .	110,6	265,4	154,8 "
Kurwien . . . . .	116,0	215,7	99,7 "
Schoo . . . . .	113,4	420,9	307,5 "
Sonnenberg } 8 Monate {	57,1	128,9	71,8 "
Lahnhof } 8 Monate {	76,5	158,2	81,7 "

Man begegnet also im Freien den mannigfaltigsten Feuchtigkeitsverhältnissen der Luft. Ein Extrem, der Zustand vollkommener Sättigung der Luft mit Wasser (100 % relative Feuchtigkeit) wird sehr häufig erreicht, bei Nebel und Regen, häufiger im Winter als während des Sommers. Eine vollkommen trockne Luft wurde jedoch unter freiem Himmel noch niemals beobachtet; es liegen wohl Angaben über sehr geringe Feuchtigkeitsgehalte der Luft vor, jedoch

1) MÜTTRICH, Jahresbericht über die Ergebnisse der Beobachtungen der forstlich-meteorologischen Stationen in Preussen und den Reichslanden. 1877. Jahrg. 3.

keine einzige, welche sich auf eine relative Feuchtigkeit von 0 % bezöge. So beobachteten HUMBOLDT und ROSE <sup>1)</sup> in Sibirien bei einer Temperatur von 23,7 ° C. einmal 14 % relative Feuchtigkeit; ABBA-DIE <sup>1)</sup> in Abyssinien bei 37,1 ° C. nur 6 Grm. absolute und 14 % relative Feuchtigkeit. Auch in Deutschland kommen manchmal solche niedrige Werthe zum Vorschein; aus den 28jährigen Beobachtungen in Bayreuth <sup>2)</sup> geht z. B. hervor, dass daselbst innerhalb der ganzen Periode die relative Feuchtigkeit 7 mal unter 20 % einmal auf 11,5 % und einmal sogar auf 11,2 % sank.

TABELLE XII.

**Absolutes und specifisches Gewicht der Luft bei verschiedenen Temperaturen und Feuchtigkeitsgraden.**

Temperatur	Tension <sup>3)</sup>	Höchste absolute <sup>4)</sup> Feuchtigkeit	Gewicht eines Cubikmeters			Specifisches Gewicht		
			trocken	bei 50 % relat. Feuchtigk.	bei 100 % relat. Feuchtigk.	trocken	bei 50 % relat. Feuchtigk.	bei 100 % relat. Feuchtigk.
° C.	Mm.	Grm. pr. Cbm.	Kilo	Kilo	Kilo			
— 15	1,40	1,57	1,3682	1,3678	1,3674	1,0580	1,0577	1,0573
— 10	2,09	2,30	1,3421	1,3416	1,3409	1,0380	1,0374	1,0369
— 5	3,11	3,36	1,3170	1,3163	1,3153	1,0186	1,0178	1,0171
0	4,60	4,88	1,2932	1,2917	1,2902	1,0000	0,9988	0,9977
+ 5	6,53	6,79	1,2697	1,2679	1,2658	0,9820	0,9804	0,9788
10	9,16	9,37	1,2472	1,2446	1,2419	0,9646	0,9625	0,9603
15	12,70	12,76	1,2255	1,2220	1,2182	0,9478	0,9450	0,9420
20	17,39	17,16	1,2046	1,1998	1,1946	0,9317	0,9278	0,9239
30	31,55	30,13	1,1648	1,1561	1,1470	0,9009	0,8940	0,8866

Ebenso bedeutenden Differenzen setzen sich aber die Menschen auch im Innern ihrer Wohn- und Arbeitsräume aus. Einerseits wird bei gutem Abschlusse der Wände und dadurch bedingten Mangel an Ventilation die Luft daselbst leicht durch die Respiration oder die Thätigkeit der Bewohner in einen Zustand völliger Sättigung mit Wasser versetzt, andererseits kann in gut ventilirten Räumen das

1) MÜLLER, Kosmische Physik. S. 693.

2) BEZOLD und LANG, Beobachtungen der meteorol. Stationen im Königr. Bayern. Jahrg. I. 1879.

3) Nach REGNAULT, Memoires de l'Académie. Bd. 21. 1847. p. 624.

4) Berechnet aus der Tension nach der Formel  $P = 1,2932 \cdot D \cdot \frac{T}{760} \cdot \frac{1}{1+at}$ .

Hierin ist P das zu findende Gewicht des Wassers, D die Dichte des Wasserdampfes = 0,623; T die Tension des Wasserdampfes für die Temperatur t; a der Ausdehnungscoefficient der Gase = 0,003665; 1,2932 das Gewicht eines Cubikmeters trockener Luft bei 0° und 760 Mm. Barometerstand.

gerade Gegentheil erreicht werden, wenn im Winter die nur wenig Wasserdampf enthaltende freie Luft (auch wenn sie nahezu gesättigt ist) durch künstliche Erwärmung von einem niederen auf einen hohen Temperaturgrad gebracht wird, ohne dass eine Zufuhr von Wasser erfolgte. So kommt es, dass man in Wohnräumen, Fabriken und sonstigen gewerblichen Anlagen, zu deren Betriebe hohe Wärme- grade erforderlich sind, häufig eine relative Feuchtigkeit von 20<sup>0</sup>,<sub>0</sub> und darunter beobachten kann, was einem sehr bedeutenden Sättigungsdeficite entspricht. (Vergl. den Abschnitt „Wohnung“.)

Feuchte Luft ist leichter als ein gleich grosses Volum trockner Luft; da durch die Aufnahme von Wasser das Volumen der trocknen Luft ein grösseres wird, der an die Stelle von Luft getretene Wasserdampf aber ein geringeres specifisches Gewicht besitzt als jene, so muss 1 Cbm. der feuchten Luft leichter sein als ein Cbm. trockne Luft<sup>1)</sup>. SOYKA<sup>2)</sup> berechnete eine Tabelle für die Gewichte eines Cubikmeters Luft von verschiedener Temperatur und Feuchtigkeit, welche keiner weiteren Erläuterung bedarf. Derselben wurden noch die specifischen Gewichte der Luft unter den gleichen Verhältnissen bezogen auf Luft von 0<sup>0</sup> und völlige Trockenheit beigelegt<sup>3)</sup>. (Vergl. Tabelle XII.)

Bezüglich der Aenderungen des Luftdruckes beim Uebergange des Wasserdampfes in die flüssige Form oder bei Erhöhung des Wassergehaltes der Luft durch Verdunstung tropfbar flüssigen Wassers muss auf den Abschnitt „Niederschläge“ verwiesen werden.

### 3. Kohlensäure.

Die Kohlensäure, CO<sub>2</sub>, gehört zu den constanten überall nachzuweisenden Bestandtheilen der atmosphärischen Luft; ihre Menge ist zwar meist sehr gering, dennoch hat die Bestimmung derselben eine grosse Bedeutung für die hygienische Forschung erlangt.

In der Luft im Freien finden sich nach älteren Versuchen<sup>4)</sup> folgende Mengen Kohlensäure:

Nach SAUSSURE.	. . .	0,41	Vol. auf 1000 Vol. Luft					
„ VERVER	. . .	0,419	„	„	„	„	„	„
„ v. GILM	. . .	0,415	„	„	„	„	„	„
„ v. BOUSSINGAULT		0,400	„	„	„	„	„	„

1) RENK, Die Canalgase u. s. w. Hygien. Tagesfragen. II. München 1882. S. 5.

2) SOYKA, Zeitschrift für Biologie. Bd. 18. 1883. S. 152.

3) Ebenda. S. 153.

4) ROTH und LEX, Handbuch der Militärgesundheitspflege. Bd. 1. S. 134.



Neuere Untersuchungen ergaben jedoch etwas geringere, dafür aber bessere Werthe, da sie mit Hilfe von zuverlässigen Methoden, hauptsächlich der von PETTENKOFER <sup>1)</sup> angegebenen titrimetrischen Methoden gewonnen waren. In Tabelle XIII ist eine Anzahl neuerer Beobachtungen zusammengestellt.

TABELLE XIII.

Kohlensäuregehalt der Luft im Freien.							‰ CO <sub>2</sub>
FARSKY <sup>2)</sup>	in	Tabor	(Böhmen)	fand	im	Mittel	0,343
CLAESSON <sup>3)</sup>	zu	Lund					0,297
SCHULTZE <sup>4)</sup>	in	Rostock	fand				0,292
HÄSELBARTH und FITTBOGEN <sup>5)</sup>	in	Dahme					0,334
TRUCHOT <sup>6)</sup>	in	Clermont	bei	gutem	Wetter,	Mittel	0,330
"	"	"	"	Regen			0,460
"	"	"	"	Schnee			0,560
REISET <sup>7)</sup>	auf	freiem	Felde	bei	Dieppe		0,2942
"	in	einem	jungen	Walde			0,2917
"	zu	gleicher	Zeit	im	Freien		0,2902
"	über	einem	blühenden	Rothkleefelde			0,2898
"	zu	gleicher	Zeit	im	Freien		0,2915
"	über	einem	Gerstenfelde				0,2829
"	zu	gleicher	Zeit	im	freien	Felde	0,2933
"	in	der	Nähe	einer	Schaaflheerde	(300 Stück)	0,3178
REISET <sup>8)</sup>	nach	neueren	Untersuchungen				0,2978
MARIÉ DAVY und LEVY <sup>9)</sup>	in	Montsouris					0,302
"	"	"	"	"	"	1876	0,259
"	"	"	"	"	"	1877	0,284
"	"	"	"	"	"	1878	0,345
"	"	"	"	"	"	1879	0,329
"	"	"	"	"	"	1880	0,270
ARMSTRONG <sup>10)</sup>	in	Grasmere	(Westmoreland)	bei	Tag		0,29603
"	"	"	"	"	Nacht		0,32999
MÜNTZ und AUBIN <sup>11)</sup>	auf	freiem	Felde	bei	Tag		0,288
"	"	"	"	"	Nacht		0,300
"	"	"	am	Pic du Midi	(2877 Mt. hoch)		0,286

1) v. PETTENKOFER, Annalen der Chemie u. Pharmacie. Bd. 2, Suppl., S. 1.  
(Vergl. FLÜGGE, Lehrbuch der hygienischen Untersuchungsmethoden. S. 122 u. ff.)

2) Sitzungsberichte der Wiener Acad., math. phys. Classe. Bd. 74.

3) Berichte der deutschen chem. Gesellschaft. 1876. S. 175.

4) Landwirthschaftl. Versuchsstation. Bd. 14. S. 366.

5) Landwirthschaftl. Jahrb. von NATHUSIUS u. THIEL. Bd. 8. S. 669.

6) Annales agronomiques. 1877. Bd. 3. p. 69.

7) Comptes rendues. Bd. 88. p. 1007.

8) Ibid. Bd. 90. p. 1144.

9) Ibid. p. 32 u. Annuaire de l'observatoire de Montsouris pour 1882. p. 400.

10) Der Naturforscher. 1880. S. 282.

11) Comptes rendues. Bd. 92. p. 247 und 1229.

Es kann somit der Kohlensäuregehalt der Luft im Freien, d. h. auf freiem Felde rund zu 0,3 Volum promille angegeben werden.

Die Quellen der atmosphärischen Kohlensäure sind mannigfacher Art. So entsteigen den wenigen noch thätigen Vulkanen grosse Mengen gasförmiger Kohlensäure, welche aus dem Erdinnern stammen. Auch kennt man Höhlen und Bergspalten, aus denen Kohlensäuregas in grosser Menge in die Luft übergeht. Es sei hier nur an die berühmte Hundsgrotte bei Neapel erinnert, auf deren Boden beständig eine Schichte Kohlensäure lagert, welche kleine Thiere sofort tödtet, während grössere Thiere und der Mensch die Höhle unbeschadet betreten können; schon oben (S. 9) wurde der Grotte des Fées de St. Maurice Erwähnung gethan, in deren Luft FOREL 1,99 Procente Kohlensäure fand. In Pymont, in der Umgegend des Laacher Sees, im Lahnthale bei Ems, in der Eifel, am Taunus, bei Brohl am Rhein, bei Vichy, Hauterive, im Giftthale auf Java entströmt das Kohlensäuregas aus Bergspalten, mitunter so massenhaft, dass es zu industriellen Zwecken Verwendung findet <sup>1)</sup>. Auch Quellen aus grosser Tiefe, sogenannte Sauerlinge, kommen mit Kohlensäure beladen an manchen Stellen an die Erdoberfläche und geben dieselbe an die atmosphärische Luft ab. In Marienbad untersuchte PETTENKOFER <sup>2)</sup> die über der Marienquelle befindliche Luft und fand 5 Cm. über der Oberfläche des Wassers 31 % Kohlensäure, herrührend von dem aus der Quelle aufsteigenden Gase, welches 70 % Kohlensäure enthält. Die grösste Menge Kohlensäure wird aber durch die organisirten Wesen auf der Erdoberfläche erzeugt. Alle Organismen (die Pflanzen allerdings nur während der Nacht) scheiden während ihres Lebens gasförmige Kohlensäure aus, welche sich mit der sie umgebenden Luft vermengt; aber auch noch nach dem Tode werden sie zu Quellen der Kohlensäure, indem die Zersetzung ihrer Leichen, auf welchem Wege sie auch erfolgen mag, durch Fäulniss, Verwesung, oder Verbrennung, an der Luft, im Wasser oder im Boden, immer zur schliesslichen Umwandlung hoher Kohlenstoffverbindungen in Kohlensäure führt. Ein Stück des Kreislaufes des Kohlenstoffes legt derselbe mit Sauerstoff zu Kohlensäure verbunden durch die Atmosphäre zurück, gelangt aus ihr in den Pflanzenleib, aus diesem wieder zurück in die Atmosphäre oder vorher noch in den thierischen Organismus, aus welchem er entweder durch den Respirationsprocess oder durch die Zersetzung nach dem Tode wieder als Kohlensäure an die Luft abgegeben wird. Auch die Verbrennung der Heizmaterialien des Menschen ist eine reichliche

1) GMELIN-KRAUT, Handbuch der anorg. Chemie. Bd. 1. Abthl. 2. S. 74.

2) Zeitschrift für Biologie. Bd. 9. S. 248.

Quelle für die Kohlensäure der Atmosphäre; auch hierbei handelt es sich um eine Ueberführung des in pflanzlichen oder thierischen Organismen enthaltenen Kohlenstoffes in Kohlensäure (neben anderen hier nicht interessirenden Umsetzungen).

Demzufolge hätte man an jenen Punkten der Erdoberfläche, wo Menschen (und Thiere) dicht zusammen wohnen, wo viele Brennmaterialien verbraucht werden, eine Vermehrung der Kohlensäure der Luft zu erwarten. In der That wird diese Erwartung auch durch zahlreiche Untersuchungen bestätigt, wenn auch nur in geringem Grade, wie folgende Tabelle XIV zeigt, in welcher mehrere Beobachtungen über den Kohlensäuregehalt der Luft in Städten zusammengestellt sind.

Vergleicht man Tabelle XIII und XIV mit einander, so lässt sich ein Unterschied zwischen dem Kohlensäuregehalte der Luft auf freiem Felde und im Innern der Städte wohl erkennen; das Mittel aus allen Zahlen der Tabelle XIII beträgt 0,318, das aus Tabelle XIV 0,385 ‰, mithin ist die Luft der Städte durchschnittlich um 0,067 ‰  $\text{CO}_2$  reicher als die auf freiem Felde.

TABELLE XIV.

**Kohlensäuregehalt der Luft im Innern von Städten.**

			‰ $\text{CO}_2$
ANGUS SMITH <sup>1)</sup>	fand in der Stadt Genf . . . . .		0,468
"	" " Chambeisy am Genfersee . . . . .		0,460
"	" " am Genfersee . . . . .		0,439
"	" " in Madrid . . . . .		0,516
"	" " vor der Stadt . . . . .		0,450
"	" " in einer Vorstadt von Manchester . . . . .		0,369
"	" " den Strassen von Manchester . . . . .		0,403
"	" " London auf der Themse . . . . .		0,343
"	" " in den Parks . . . . .		0,301
"	" " " " Strassen . . . . .		0,380
"	" " auf Strassen u. Plätzen von London . . . . .		
	bei Nord und Northwest . . . . .		0,444
	" Süd und Südwest . . . . .		0,439
	" Ost und Südost . . . . .		0,475
	" Westwind . . . . .		0,412
"	" an verschied. Orten in Schottland . . . . .		0,336
"	" in Glasgow . . . . .		0,502
BOUSSINGAULT <sup>2)</sup>	fand in Paris . . . . .		0,400
WOLFFHÜGEL <sup>3)</sup>	" " München . . . . .		0,376

1) ANGUS SMITH, On air and rain. p. 45.

2) Annales de chimie et de physic. 1844. III. Ser. Bd. 10. p. 456.

3) Zeitschrift für Biologie. Bd. 15. S. 98.

	% <sub>00</sub> CO <sub>2</sub>
MACAGNO <sup>1)</sup> in Palermo zur Regenzeit . . . . .	0,330
„ „ „ bei gutem Wetter . . . . .	0,390
Mittel . . . . .	0,360
REISET <sup>2)</sup> in der Stadt Paris . . . . .	0,3027
„ „ „ „ „ bei Tage . . . . .	0,2891
„ „ „ „ „ Nacht . . . . .	0,3084
„ „ „ „ „ Nebel . . . . .	0,3166
MÜNTZ und AUBIN <sup>3)</sup> in Paris bei bedecktem Himmel	0,322 — 0,422
„ „ „ „ „ klarem Himmel .	0,289 — 0,310
FODOR <sup>4)</sup> in Klausenburg . . . . .	0,380
„ „ Budapest . . . . .	0,389

So geringe Differenzen müssen überraschen, wenn man berücksichtigt, wie grosse Mengen von Kohlensäure oft an einem kleinen Fleckchen Erde, z. B. in einer grossen Fabrikstadt, im Tage der Luft übergeben werden. ANGUS SMITH <sup>5)</sup> hat z. B. berechnet, dass die Stadt Manchester im Tage 7,78 Millionen Cubikmeter Kohlensäure producirt; gleichwohl fand sowohl er als auch ROSCOE <sup>6)</sup> keinen auffallend hohen Kohlensäuregehalt im Innern der Stadt. Es müssen daher Umstände vorhanden sein, welche ein so schnelles Verschwinden der Kohlensäure erklären lassen.

PETTENKOFER hatte aus dem Ergebnisse seiner Versuche an der Marienquelle in Marienbad (l. c.) den Schluss gezogen, dass die CO<sub>2</sub> nach ihrem Austritte aus dem Wasser eine ausserordentlich rasche Verdünnung durch Diffusion erfahre. Die Luft enthielt nämlich 5 Cm. über der Oberfläche des Wassers 31 ‰, 25 Cm. darüber 23 ‰, in Entfernung von 1 Mt. 2 ‰, und bei einer Höhe von 145 Cm. nur noch 0,5 ‰ Kohlensäure. Ebenso hatte die Thatsache, dass man im Innern bewohnter Räume fast niemals am Boden einen höheren Kohlensäuregehalt der Luft finden kann als an der Decke, ja dass sogar häufig an letzterer etwas mehr Kohlensäure gefunden wird als in den unteren Parthien des Raumes <sup>7)</sup>, die Ansicht bestätigt, dass die Vertheilung des Gases in der Luft trotz des höheren specifischen Gewichtes der Kohlensäure (1.5202, bezogen auf Luft = 1) durch Diffusion erfolge.

1) Chemisches Centralblatt. Bd. 11. S. 225.

2) Comptes rendues. Bd. 90. p. 1144.

3) Ibid. Bd. 92. p. 247.

4) FODOR, Hygien. Untersuchungen über Luft, Boden und Wasser. Braunschweig 1881. S. 23.

5) On air and rain. p. 69.

6) Chemical News. Bd. 9. p. 80.

7) v. PETTENKOFER, Abhandlungen der naturw. techn. Commission der bayr. Acad. der Wissenschaften. Bd. 2. S. 78.



Neuere Untersuchungen über die Vertheilung der Kohlensäure in geschlossenen Räumen machten jedoch noch auf einen anderen hierbei zu berücksichtigenden Factor, die mechanischen Strömungen in der Luft, im Gegensatze zu den Diffusionsströmen der einzelnen Gase aufmerksam. (FORSTER<sup>1)</sup>, ERISMANN<sup>2)</sup>, FORSTER und E. VOIT<sup>3)</sup>.) FORSTER hatte allein und später mit E. VOIT die Beobachtung gemacht, dass unter gewissen Umständen eine Ansammlung von Kohlensäure in den unteren Parthieen eines Raumes stattfinden könne, dann nämlich, wenn mechanische Strömungen, welche eine Mischung der verschiedenen Luftschichten verursachen könnten, fehlen. Die Erwärmung eines Raumes durch einen Ofen, ja selbst die Erwärmung der Luft, welche sie in Berührung mit dem menschlichen Körper erfährt, sowie das Umhergehen und Arbeiten von Menschen, verursachten in jenen Versuchen schon Luftströme, welche eine Mischung der Luft mit der künstlich entwickelten Kohlensäure herbeiführten. ERISMANN fand, dass wenn Kohlensäure aus Chemikalien entwickelt wurde und mit der Temperatur der in seinem Versuchsraume enthaltenen Luft in diesen eingeleitet wurde, der grösste Theil derselben sich am Boden des Raumes lagerte, dass dagegen, wenn diese Kohlensäure an der Einströmungsöffnung erwärmt, oder wenn sie durch Verbrennung von Kerzen im Raume selbst erzeugt wurde, die Vertheilung eine ganz andere, viel gleichmässigere war als im ersteren Falle. (Vergl. den Abschnitt „Wohnung.“) Es geht daraus hervor, dass für die Verbreitung der specifisch schwereren Kohlensäure in der leichteren Luft in höherem Grade mechanische Strömungen betheiligt sind, als die Diffusion der Gase. Hauptsächlich sind es die durch Temperaturdifferenz bedingten Strömungen in der Luft eines Raumes, welche zu einem raschen Ausgleiche des Kohlensäuregehaltes der Luft führen; gegen sie treten mechanische Bewegungen durch Ventilationsapparate und besonders die Diffusion bedeutend zurück.

Auch für die rasche Vertheilung der Kohlensäure in der Luft der Städte müssen in erster Linie sowohl Bewegungen der Luft im Allgemeinen als auch local begrenzte aufsteigende Luftströme infolge von Temperaturdifferenz verantwortlich gemacht werden. Als Hauptquellen der Kohlensäureproduction kennt man einerseits die Verbrennung von Kohle, Holz u. s. w. und andererseits die Respiration von Menschen und Thieren; in allen diesen Fällen aber ist die Entwick-

---

1) Zeitschrift für Biologie. Bd. 11. S. 392.

2) Ebendasselbst. Bd. 12. S. 315.

3) Desgleichen. Bd. 13. S. 1.

lung des Gases mit Entwicklung von Wärme begleitet, welche im Momente der Ausscheidung einen nach aufwärts gerichteten Luftstrom verursacht und somit die aus den Organismen sowohl als auch aus den Verbrennungs- und Beleuchtungsapparaten austretende Kohlensäure verhindert, zu Boden zu sinken. Der aufsteigende Luftstrom entführt die gebildete Kohlensäure rasch von der Stätte ihrer Entstehung und bringt dieselbe zu rascher Vertheilung in den höheren Luftschichten. Ausser der höheren Temperatur, mit welcher die Kohlensäure in den Producten der Respiration und Verbrennung an die Atmosphäre abgegeben wird, ist aber auch noch der Wechsel in der Erwärmung der Erde und aller auf ihr befindlicher Körper durch die Sonne, sowie die Erwärmung von Luftmassen durch künstliche Wärmequellen beständig thätig, eine innige Mischung der Luft hervorzubringen, wozu sich noch die Wirkung der ebenfalls durch die Sonnenwärme hervorgerufenen Windbewegung gesellt, welche oft allein schon ausreicht, eine genügende Verdünnung der entwickelten Kohlensäure schon im Momente ihres Entstehens herbeizuführen.

Mit diesen Erwägungen stimmen auch die von mehreren Forschern beobachteten Schwankungen des Kohlensäuregehaltes der Luft an Ort und Stelle überein insofern, als sich eine Vermehrung des Kohlensäuregehaltes ungezwungen mit einer Verminderung der Luftströmungen, welche durch Temperaturdifferenz erzeugt werden, zurückführen lässt.

TABELLE XV.

	$\text{‰ CO}_2$
REISET <sup>1)</sup> fand bei Tage in der Stadt Paris . . . .	0,2891
"      "      " Nacht . . . .	0,3084
"      "      " Nebel . . . .	0,3166
Ebenso ARMSTRONG <sup>2)</sup> in Grasmere bei Tag . . . .	0,29603
"      "      "      "      " Nacht . . . .	0,32999
MÜNTZ und AUBIN <sup>3)</sup> auf freiem Felde bei Tag . . . .	0,288
"      "      "      "      "      " Nacht . . . .	0,300
"      "      "      "      "      " in Paris bei klarem Himmel . .	0,289 — 0,310
"      "      "      "      "      " bedecktem " . .	0,322 — 0,422
FODOR <sup>4)</sup> in Budapest bei Tage . . . . .	0,418
"      "      "      "      " Nacht . . . . .	0,426

Bei Nacht, bei bedecktem Himmel und bei Nebel ergab sich übereinstimmend eine Vermehrung der Kohlensäure gegenüber der bei Tage beobachteten Menge; an trüben Tagen und bei Nacht fehlt

1) Comptes rendues. Bd. 90. p. 1144.

2) Naturforscher. 1880. S. 282.

3) Comptes rendues. Bd. 92. p. 247.

4) Hygienische Untersuchungen über Luft, Boden, Wasser. S. 27.

aber die Wirkung der Sonnenwärme; die Vertheilung der Temperatur im Freien ist daher eine viel gleichmässigere, als an hellen Tagen mit Sonnenschein, an welchen man grosse Differenzen zwischen schattigen und sonnebeschienenen Orten findet. Es kommen infolge dessen im letzteren Falle mehr Störungen im Gleichgewichte der Luft und dadurch Strömungen von Luftmassen nach oben, welche wieder durch Zufluss von Luft von unten und von der Seite her ausgeglichen werden, zu Stande und wird so eine raschere Mischung der in den unteren Luftschichten erzeugten Kohlensäure mit der darüber befindlichen Luftmasse bewirkt. Es geht dieser Einfluss der Erwärmung durch die Sonne auch recht deutlich hervor aus den Beobachtungen von LEVY und ALLAIRE <sup>1)</sup> in Montsouris, welche während 4 Jahren fortlaufende Untersuchungen über den Kohlensäuregehalt der Luft anstellten und die dabei erhaltenen Jahresmittel mit den Jahresmitteln anderer meteorologischer Elemente verglichen; nur zu der Helligkeit der Witterung liess sich eine bestimmte Beziehung erkennen insoferne, als ein geringerer Kohlensäuregehalt einer grösseren Helligkeit entsprach und umgekehrt, wie Tab. XVI zeigt.

TABELLE XVI.

	1876	1877	1878	1879
Mittel des Kohlensäuregehaltes	0,259	0,276	0,346	0,354 %
Mittlere Helligkeit . . . .	0,63	0,58	0,55	0,50

Es liesse sich gegen dieses Uebergewicht der mechanischen Bewegung von Luftmassen gegenüber den Diffusionsvorgängen vielleicht die Thatsache anführen, dass man auch in der Luft der grossen englischen Fabrikstädte, deren manche jahraus jahrein in eine dicke Rauchwolke gehüllt erscheinen, welche die Sonne nur selten durchblicken lässt, nicht mehr Kohlensäure aufzufinden vermag als in der Luft anderer Städte, welche dieser Rauchhülle entbehren. Die Bewegung der Luft ist in solchen Fällen allerdings nicht gross genug, den aus den Schornsteinen von Wohnhäusern und Fabriken ausströmenden Rauch zu entfernen und so die Luft über jenen Städten rein zu erhalten; es muss aber auch im Auge behalten werden, dass das, was man als Rauch sieht, nicht Gase, sondern feste Staubpartikelchen, Kohle, Russ, sind, welche in der Luft schweben, während die Kohlensäure als Gas aus Moleculen bestehend gedacht werden muss, deren Grösse und Gewicht unendlich vielmal kleiner sind als das eines Rauchtheilchens. Es wird in dem vom Luftstaube handelnden Capitel dieses Abschnittes die Rede davon sein müssen, dass

1) Comptes rendues. Bd. 90. S. 32.





alle Anhaltspunkte für die Menge der durch den Athmungsprocess der Thiere gelieferten Kohlensäure. Da die Menge der jährlich geförderten und wohl auch zur Verbrennung gelangenden Steinkohle bekannt ist, so kann aus ihrem Kohlenstoffgehalte die Menge der auf diesem Wege erzeugten Kohlensäure berechnet werden; dagegen fehlen wieder alle Grundlagen für eine Schätzung der aus den übrigen Brenn- und Beleuchtungsmaterialien <sup>1)</sup>, sowie durch fermentative Processe erzeugten und endlich der aus dem Erdinnern stammenden Kohlensäure. Etwas zugänglicher liegen für eine Schätzung die Mengen des Gases, welche aus der Atmosphäre weggenommen werden, da die hierfür maassgebenden Factoren nur wenige sind; es sind dies in erster Linie die atmosphärischen Niederschläge und der Stoffwechsel der chlorophyllhaltigen Pflanzen. Was die ersteren anlangt, so weiss man, dass Regen- und Schneewasser immer kohlensäurehaltige Luft absorbirt enthalten. In vorstehender Tabelle XVII ist eine Anzahl von diesbezüglichen Beobachtungen, welche aus Procenten umgerechnet wurden, mitgetheilt.

In Deutschland fallen im Jahre durchschnittlich 70 Cm. Regen, was auf einer Oberfläche von 539,740 Qkmt. 377,82 Cbkmt. Wasser ausmacht. Bei einem Gehalte des Regenwassers von 1,732 Cm. pro Liter repräsentirt obige Menge Wasser 654,380,776 Cbm. Kohlensäure, welche als reines Gas über ganz Deutschland in gleichmässiger Schichte ausgebreitet eine Höhe von 1,2 Mm. einnehmen würde.

Weitere Mengen werden durch die Pflanzenwelt, soweit sie Chlorophyll producirt, in Beschlag genommen. Alle grünen Pflanzen nehmen Kohlensäure aus der umgebenden Luft auf <sup>2)</sup>, sie gehen zu Grunde oder verkümmern in kohlensäurefreier Luft, auch wenn ihren Wurzeln reichlich Kohlensäure dargeboten wird. Der Aufbau sämtlicher organischer Stoffe geschieht in den Organismen, und direct zunächst nur in den grünen Pflanzen aus dem Molecüle  $\text{CO}_2$ , der Kohlensäure <sup>3)</sup>, und da diese hauptsächlich aus der atmosphärischen Luft aufgenommen zu werden scheint, so werden auf diesem Wege sehr bedeutende Mengen des Gases der Atmosphäre wieder entzogen. LIEBIG hat berechnet, dass 1 Hect. = 10000 Qmt. Land, Wald, Wiese oder Acker, im Jahre organische Stoffe mit einem Kohlenstoffgehalte von 2000 Kilo hervorbringe. Nimmt man nun an, dass nur der zwan-

1) 180 Millionen Tonnen Kohle mit 75% Kohlestoff geben zu Kohlensäure verbrannt 262 Milliarden Cubikmeter Kohlensäure.

2) SCHENK, Handbuch der Botanik. Encyclopädie der Naturwissenschaften. Abth. 1. I. Thl. Bd. 2. S. 15.

3) HOPPE-SEYLER, Physiologische Chemie. S. 31.

zigste Theil der Erde mit einem Pflanzenwuchse gleich dem in Deutschland bedeckt sei, und dass aller Kohlenstoff der darauf im Jahre producirten Vegetation aus atmosphärischer Luft stamme, so berechnet sich bei einer Oberfläche der ganzen Erde von 510 Mill. Qkmt. ein Abgang von 9500 Cbkm. Kohlensäure pro Jahr. Fände kein Ersatz von Kohlensäure statt, so würde in 172 Jahren <sup>1)</sup> der ganze Vorrath der Atmosphäre aufgezehrt sein. (Denkt man sich die eben berechnete Kohlensäuremenge als reines Gas über die Erde gleichmässig ausgebreitet, so würde es eine Schichte von 1,9 Cm. Höhe darstellen.) Neuerdings wird von SCHLÖSING <sup>2)</sup> dem Meere eine den Kohlensäuregehalt der Luft regulirende Wirkung zugeschrieben. Reines Wasser in Berührung mit kohlensäurehaltiger Luft und einem Erdcarbonate löst eine gewisse Menge des letzteren zu Dicarbonat, und zwar ist diese Menge um so grösser, je höher der Kohlensäuregehalt der Luft ist; auch erfolgt dies bei Gegenwart anderer neutraler Salze im Wasser. Es stellt sich schliesslich ein Gleichgewichtszustand zwischen Kohlensäuregehalt der Luft und gelöstem Dicarbonat her. Ein solcher muss sich nun nach SCHLÖSING auch zwischen Meer und Erdatmosphäre herstellen und die Constanz des Kohlensäuregehaltes der Luft zur Folge haben. Nimmt nämlich letzterer infolge irgend eines Missverhältnisses zwischen Production und Consumption zu, so absorbirt das Meerwasser Kohlensäure und bildet Dicarbonat, nimmt er ab, so wird aus dem Meere Kohlensäure an die Luft abgegeben und neutrales Carbonat ausgeschieden. Das Meer ist somit der Regulator, welcher einerseits, da es nach Berechnung von SCHLÖSING 10 mal so viel Kohlensäure zur Verfügung hat als die Luft, den Pflanzen die nöthige Menge dieses wichtigsten Nahrungselementes garantirt, andererseits infolge seiner Fähigkeit, Kohlensäure zur Bildung von Dicarbonaten zu absorbiren, eine Anhäufung derselben in der Luft verhindert.

FODOR <sup>3)</sup> glaubt dem Erdboden eine Rolle als hauptsächlichlicher Regulator der Kohlensäureschwankungen der Luft zuschreiben zu müssen, gestützt auf Versuche, die er, nachdem von VOGT <sup>4)</sup> und WOLFFHÜGEL <sup>5)</sup> die Anregung dazu gegeben war, angestellt hatte, um den muthmaasslichen Unterschied der Luft unmittelbar am Boden und in einiger Entfernung davon nachzuweisen. Das Resultat derselben war, dass fast immer eine Differenz im Kohlensäuregehalt der beiden Luftschichten bestand,

1) HOPPE-SEYLER, Physiologische Chemie. S. 35.

2) Comptes rendues. Bd. 72. p. 498 u. Bd. 90. p. 1410.

3) FODOR, Hygienische Untersuchungen über Luft, Wasser, Boden. S. 39.

4) VOGT, Trinkwasser und Bodengase. Basel 1874.

5) Zeitschrift für Biologie. 1879. Bd. 15. S. 102.

dass aber in einem Theile der Versuche (dem grösseren) die Kohlensäure am Boden reichlicher vorhanden war als in der Höhe, während in einer geringeren Anzahl von Versuchen das umgekehrte Verhältniss beobachtet wurde. Im ersteren Falle nimmt FODOR ein Ausströmen der Bodenluft in die darüber befindliche Atmosphäre infolge von Diffusions- und mechanischen durch Temperatur- und Luftdrucks-Differenzen bedingten Strömungen an; im letzteren soll der befeuchtete Boden absorbirend wirken, da die geringere Menge Kohlensäure in der Bodenniveauschicht gerade in die Zeiten fällt, in welchen der Boden am feuchtesten ist, nach Regentagen und allgemein im Frühjahr. FODOR zeigte auch, um letztere Annahme zu stützen, dass Wasser an und für sich viel weniger Kohlensäure aus durchgeleiteter Luft aufzunehmen vermag, als wenn es in Berührung mit Boden steht; in letzterem Falle bildet die absorbirte Kohlensäure mit den Bestandtheilen des Bodens Carbonate und Bicarbonate und wird dadurch chemisch gebunden, es kann also immer wieder aufs Neue Kohlensäure absorbirt werden. Auf solche Weise, glaubt FODOR, regulire der Boden die Kohlensäureschwankungen der Luft und müsse aus einer Zunahme des Kohlensäuregehaltes derselben sogar der Schluss gezogen werden, dass die Atmosphäre mehr oder weniger Grundluft aufgenommen habe, dass sie durch letztere verunreinigt wurde (S. 52 u. 56). Es lassen sich jedoch gewichtige Bedenken dagegen erheben, dass FODOR die Resultate der von ihm im hygienischen Institute zu Budapest angestellten Versuche direct auf die ganze Atmosphäre überträgt, auch der Umstand, dass die dort gemachten Beobachtungen mit den 1600 Schritte entfernt (im Hofe einer Kaserne) angestellten übereinstimmen, kann noch nicht zu einer Verallgemeinerung der aus ihnen gezogenen Schlüsse berechtigen. Gegen eine solche Verallgemeinerung lassen sich vor allem die Versuche von WOLFFHÜGEL anführen, welcher in München keine Differenzen zwischen Bodenniveauluft und Luft aus höheren Schichten auffinden konnte. Liegt schon darin ein Hinweis darauf, dass es sich bei jenen Versuchen vielleicht nur um rein locale Verhältnisse handle, so kommt noch der weitere Umstand hinzu, dass beide Versuchsstationen FODOR's sich über unbebautem, vegetationslosen Terrain und wie es scheint, in geschlossenen Höfen befanden; wollte FODOR aber die Bedeutung der Bodenluft für die Atmosphäre im Allgemeinen feststellen, so hätten auch Versuche auf freiem Felde und im Walde angestellt werden müssen, um auch den Einfluss des mächtigen Factors Vegetation auf diese Verhältnisse zu eruiren. Es wären dabei wahrscheinlich ganz andere Resultate erhalten worden, da die Pflanzen nicht nur aus der Luft, sondern auch aus dem Boden Kohlensäure aufnehmen und somit bei Vegetationsflächen ganz andere Verhältnisse vorliegen als bei den durch eine Stadt überbauten, jedenfalls ungleich kleineren Flächen. Es lassen sich aber auch noch andere Bedenken gegen die Auslegung, welche FODOR von seinen Versuchen giebt, erheben. Da in neuerer Zeit mehrfach nachgewiesen wurde, dass die Häuser aspirirend auf die Grundluft wirken (PETTENKOFER <sup>1)</sup>, COBELLI <sup>2)</sup>, RENK <sup>3)</sup> u. A.), und

1) Populäre Vorträge. Hft. 1. S. 88.

2) Zeitschrift für Biologie. Bd. 12. S. 420.

3) Tageblatt der 54. Naturforschervers. in Salzburg. S. 193.



zwar auf weite Entfernungen hin, so muss es überraschen, unmittelbar neben einem Hause einen so beträchtlichen Austritt von Grundluft, wie aus FODOR's Versuchen hervorgeht, wahrzunehmen. RENK hat durch Messungen mittelst eines Differentialmanometers sich überzeugt, dass die Luft im Boden in der ganzen Umgebung eines Hauses, sowohl im Sommer als auch besonders im Winter, einen Ueberdruck über die Luft im Keller des Hauses besitze, mithin nach diesem Raume hinströmen müsse; damit erscheint jene Erklärung FODOR's, dass der hohe Kohlensäuregehalt der Luft am Boden durch den Austritt von Bodenluft bedingt sei, nicht recht vereinbar, denn wenn die Bodenluft nach den Häusern hinströmt, so muss dieselbe wieder ersetzt werden und dies kann nur durch das Eindringen von atmosphärischer Luft in den Boden ausserhalb der Wohnhäuser geschehen. Sodann übersieht FODOR bei seiner Berechnung der durch den Regen, nachdem er gefallen ist, absorbirten Kohlensäuremenge gänzlich den Umstand, dass der Regen beim Eindringen in den Boden mit Luft in Berührung tritt, welche ungleich viel kohlensäurereicher ist als die Atmosphäre, dass also die Sättigung des Wassers mit Kohlensäure hauptsächlich von jener Seite her erfolgen wird und aus der Atmosphäre alsdann nur geringe Mengen Kohlensäure aufgenommen werden können. Sicherlich stammt die grösste Menge jener Kohlensäure, welche in den Bicarbonaten des Grundwassers fast überall aufzufinden ist, nicht aus der Atmosphäre, sondern aus der Grundluft, wie schon PETTENKOFER<sup>1)</sup> überzeugend nachgewiesen hat. Es sinkt somit auch die Bedeutung des befeuchteten Bodens als Absorptionsmittel für die Kohlensäure der Atmosphäre bedeutend herunter und müssen infolge dessen und im Hinblick auf die anderen gemachten Einwendungen die Schlüsse, welche FODOR aus seinen Beobachtungen zog, und welche in dem Satze gipfeln, dass die atmosphärische Kohlensäure und deren Schwankungen in erster Reihe ein Product des Bodens und der in ihm verlaufenden Prozesse und gleichzeitig ein Index für die Verunreinigung der Atmosphäre mit solchen sei, als etwa zu weitgehend angesehen werden.

Viel beträchtlichere Mengen von Kohlensäure als in der freien Atmosphäre findet man in der Luft geschlossener Räume. Der Respirationprocess von Menschen und Thieren, die Verbrennung von Heiz- und Beleuchtungsmaterialien, die industrielle Thätigkeit der Menschen sind die Quellen hochgradiger Verunreinigung der Luft mit verschiedenen Gasen, unter welchen die Kohlensäure der Menge nach alle anderen meist überragt. Wie hoch unter solchen Verhältnissen der Kohlensäuregehalt der Luft ansteigen kann, wird in dem Abschnitte „Wohnung“ ausführlich erörtert werden, an dieser Stelle kann es genügen, einige excessiv hohe Kohlensäuregehalte der Luft zu registriren, um die Extreme zu bezeichnen, denen die Menschen sich unter Umständen noch aussetzen.

In bewohnten Räumen, in welchen nur die Respiration von Men-

---

1) Zeitschrift für Biologie. Bd. VII. S. 395.



schen die Quelle der Kohlensäure sein konnte, hat PETTENKOFER <sup>1)</sup> 0,5 bis 7,2 Volum pro Mille Kohlensäure nachgewiesen. ROSCOE <sup>2)</sup> fand in Wohnräumen in London 1,2 bis 3,3<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, OERTEL <sup>3)</sup> in München 0,8 bis 9,4<sup>0</sup>/<sub>100</sub> u. s. w. In manchen Gewerbebetrieben kommen sicher noch höhere Kohlensäuregehalte der Luft infolge künstlicher Entwicklung des Gases vor. In Brauereien und Brennereien, Gärkellern und Lagerkellern, auch bei der Presshefefabrikation werden der Luft der Räume grosse Mengen durch Gährung gebildeter Kohlensäure beigemischt. HIRT <sup>4)</sup> glaubt, dass der Kohlensäuregehalt der Luft in Presshefefabriken manchmal bis auf 10% (!) ansteige. In Brunnen und Schächten, welche lange Zeit verschlossen waren, findet sich häufig ein tödtlich wirkendes Luftgemenge vor, dessen Hauptbestandtheil Kohlensäure ist. Die schweren oder drückenden Wetter in den Kohlenbergwerken verdanken ihre gefürchteten Eigenschaften hauptsächlich ihrem hohen Kohlensäuregehalte. BUNSEN <sup>5)</sup> constatirte in einem Bergwerke bei Cassel an einer Stelle, wo man sich ohne Gefahr nicht länger aufhalten konnte, 28,3<sup>0</sup>/<sub>100</sub> Kohlensäure, und in einem Raume, in welchem Braunkohle gelagert war, sogar einen solchen von 74,4<sup>0</sup>/<sub>100</sub>. In Bergwerken sind meist mehrere Kohlensäurequellen vorhanden, einmal die Respiration von Arbeitern (unter Umständen auch Thieren), die Verbrennung von Leuchtmaterialien und die künstliche Entwicklung des Gases bei Sprengarbeiten aus den Sprengmaterialien; andererseits kommt noch dazu, wenn auch nicht constant, eine natürliche Beimischung von Kohlensäure aus Kohlenlagern und im Gesteine vorhandenen Zersetzungsherden.

In englischen Bergwerken fand ANGUS SMITH <sup>6)</sup> im Mittel 7,83<sup>0</sup>/<sub>100</sub> Kohlensäure; das Maximum war 27,3<sup>0</sup>/<sub>100</sub>. Im Gotthardtunnel enthielt die Luft nach BUNSEN <sup>7)</sup> während der Arbeit 1460 Mt. vom Nordende entfernt 3<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, 1950 Mt. vom Südportale 9,6<sup>0</sup>/<sub>100</sub> u. s. w. POLECK <sup>8)</sup> untersuchte die in einem Minengänge nach dem Sprengen zurückbleibenden Gase und fand in denselben einen Kohlensäuregehalt von 44,9<sup>0</sup>/<sub>100</sub> (bei 4,88<sup>0</sup>/<sub>100</sub> Sauerstoff), welcher nach 5 Tagen bis auf 26,9<sup>0</sup>/<sub>100</sub> (bei 17,39<sup>0</sup>/<sub>100</sub> Sauerstoff) gesunken war.

1) Abhandlungen der naturwissenschaftl. techn. Commission der Bayr. Acad. der Wissenschaften. Bd. II. S. 19.

2) Jahresberichte der Chemie. 1857. S. 131.

3) Kunst- und Gewerbebl. f. d. Königr. Bayern. 1863. Septemberheft.

4) Dieses Handbuch. II. Theil. Abthl. 4. S. 46.

5) BUNSEN, Gasometrische Methoden. Braunschweig 1877. S. 101.

6) ANGUS SMITH, On air and rain. p. 90.

7) STAPFF, Archiv für Anatomie u. Physiologie. 1879. Suppl. V. S. 74.

8) POLECK, Die chemische Natur der Minengase. Berlin 1867.



In 1 Cbm. Luft fanden:

				Mg.
LEVY <sup>1)</sup>	in Montsouris	1877	. . . . .	0,032
"	"	1878	. . . . .	0,018
"	"	1879	. . . . .	0,021
"	"	1880	. . . . .	0,018
"	"	Mittel	. . . . .	0,022
"	"	1881	. . . . .	0,013—0,03
FODOR <sup>2)</sup>	in Budapest	1879, Mittel	. . . . .	0,03318
"	"	Herbst 1878	. . . . .	0,0558
"	"	Winter 1878/79	. . . . .	0,0251
"	"	Frühling 1879	. . . . .	0,0303
"	"	Sommer	. . . . .	0,0488
"	"	Herbst	. . . . .	0,0344
"	"	bei Tag im Mittel	. . . . .	0,0461
"	"	" Nacht "	. . . . .	0,0475

Aus dieser Zusammenstellung geht zur Evidenz hervor, dass beträchtliche Unterschiede im Ammoniakgehalte der Luft vorkommen, viel bedeutender, als dies z. B. bei der Kohlensäure der Luft im Freien beobachtet wird. Diese Thatsache wird nur erklärlich durch die Annahme, dass das Ammoniak in der Atmosphäre nicht gasförmig vorhanden ist, sondern in fester Form; im ersteren Falle müsste es eben so gleichmässig in der Luft vertheilt sein wie die Kohlensäure, im letzteren folgt es weder den Diffusionsvorgängen, noch wird es von den mechanischen Strömungen in der Luft, welche die gleichmässige Vertheilung der Kohlensäure bewerkstelligen, fortgetragen; es bleibt in der Luft schweben wie Russpartikelchen oder sonstiger Staub. Nun ist allerdings das Carbonat des Ammoniaks ein flüchtiger Körper, aber Nitrat und Nitrit sind bei gewöhnlicher Temperatur nur im festen Zustande bekannt; so dass also, nachdem sich in der Luft neben Ammoniak beständig auch Salpetersäure und salpetrige Säure nachweisen lassen, der Annahme einer festen Verbindung des Ammoniaks in der Luft nichts im Wege steht. Es wird so erklärlich, warum in verschiedenen Höhen übereinander so grosse Differenzen im Ammoniakgehalte der Luft gefunden werden (BINEAU, PIERRE); der feine Staub, als welchen man sich Ammoniumnitrit und -Nitrat zu denken hat, sinkt eben allmählich zu Boden und findet sich deshalb in den unteren Schichten der Luft reichlicher vor, als in den höheren.

Die Differenzen jedoch, welche sich an einem und demselben Orte der Beobachtung nach Jahres- und Tageszeit ergaben (FRESENIUS, HORSFORD, BINEAU, FODOR) müssen auf andere Weise erklärt werden.

1) Annuaire de l'Observatoire de Montsouris. 1882. p. 381.

2) L. c. p. 75.

Da das Ammoniak bei Zersetzung organischer Stoffe an der Erdoberfläche entsteht, so muss es in um so reichlicherem Maasse auftreten, je mehr diese Zersetzungen durch die Temperatur begünstigt werden. Nun ist die Temperatur der Luft während des Tages höher als bei Nacht, im Sommer höher als im Winter, mithin auch zu diesen Zeiten die Intensität der Zersetzung eine grössere, und wird somit eine vermehrte Abgabe von gasförmigen Zersetzungsproducten an die Luft bedingt.

Das in die Atmosphäre übergegangene Ammoniak wird aber auch aus derselben wieder entfernt, und zwar besorgen diese Reinigung der Luft die atmosphärischen Niederschläge. Alle Untersuchungen von Regenwasser, Schneewasser, Nebelwasser u. s. w. ergeben die Anwesenheit von Ammoniak; Tabelle XIX gibt Aufschluss über die bei quantitativen Versuchen aufgefundenen Mengen.

TABELLE XIX.

**Ammoniakgehalt der atmosphärischen Niederschläge.**

BOUSSINGAULT <sup>1)</sup> fand in 1 Lt. Wasser:	Mg. NH <sub>3</sub>
Regenwasser in Paris . . . . .	4
„ „ den Vogesen (Liebfrauenberg) . . . . .	0,79
Frischem Schneewasser . . . . .	1,78
Wasser von Schnee, der 36 Stunden auf dem Boden gelegen war . . . . .	10,34
Nebelwasser in den Vogesen . . . . .	49,7
„ bei Paris . . . . .	137,85
FILHOL <sup>2)</sup> Regenwasser auf dem Lande . . . . .	0,44 — 0,83
„ „ in der Stadt (Toulouse) . . . . .	2,6 — 6,6
„ Schneewasser ausserhalb der Stadt . . . . .	0,6
„ „ nach 36 stündigem Liegen . . . . .	3,0
MÈNE <sup>3)</sup> erhielt aus 800 Gr. Hagelkörnern . . . . .	88,3
BOBIERRE <sup>4)</sup> in Nantes in 47 Mt. Höhe . . . . .	2,00
„ „ „ „ 7 „ „ . . . . .	5,94

Auch diese Resultate deuten darauf hin, dass das Ammoniak nicht als Gas, sondern als fester Körper und deshalb in den unteren Schichten der Luft reichlicher vorhanden ist als in grösserer Höhe über dem Erdboden, besonders ist in dieser Beziehung das Resultat der Untersuchung des Nebelwassers von Interesse, da bei Nebel meist Windstille herrscht und somit auch eine Anhäufung von Ammoniumsalzen leichter möglich ist als bei bewegter Luft. Dass die

1) Annalen der Chemie und Pharmacie. Bd. 88. S. 391.

2) Comptes rendues. Bd. 41. p. 838.

3) Ibidem. Bd. 32. p. 770.

4) FISCHER. Chemische Technologie des Wassers. Braunschweig 1878. S. 85.



atmosphärischen Niederschläge die Reinigung der Luft von Ammoniak besorgen, geht besonders aus einer Untersuchung BOUSSINGAULT'S<sup>1)</sup> hervor, welcher in nacheinander während eines anhaltenden Regens gesammelten Regenmengen von 1,0, 1,0, 2,0, 2,0 und 3,5 Litern 6,59, 3,07, 1,40, 0,39 und 0,36 Mg. Ammoniak bestimmte.

Das Ammoniak, wie es in der freien Atmosphäre vorkommt, hat an und für sich für die Hygiene wenig Interesse; seine Mengen sind zu gering, seine Verbindungen mit Kohlensäure dem Organismus gegenüber ganz indifferent und auch Nitrat und Nitrit sind in viel zu geringer Menge vorhanden, als dass sie eine locale Wirkung auf die Schleimhäute ausüben könnten. Dagegen hat die Hygiene häufig mit grösseren Mengen dieses Gases in geschlossenen Räumen zu thun. Die Depots menschlicher und thierischer Excremente und Abfallstoffe bilden eine reiche Quelle für die Entwicklung von Ammoniak, welches in die Wohnräume eindringend die Luft derselben verdirbt. Leider liegen nur wenige quantitativen Bestimmungen über die Mengen des Ammoniaks in der Luft vor, welche in solchen Fällen zur Einwirkung auf den menschlichen Organismus gelangen; es handelt sich überdies hierbei meist um Gemenge mehrerer Gase, Kohlensäure, Schwefelwasserstoff u. s. w. mit Ammoniak. (Vergl. die Abschnitte Städtereinigung von ERISMANN, Wohnung von FLÜGGE und Gewerbekrankheiten von HIRT).

### 5. Salpetersäure und salpetrige Säure.

Die beiden Oxydationsproducte des Stickstoffes, salpetrige Säure  $N_2O_3$  und Salpetersäure  $N_2O_5$  lassen sich, wenn auch in minimalen Mengen, und deshalb quantitativ kaum bestimmbar, beständig in der Atmosphäre nachweisen. Entstanden durch Einwirkung von Ozon auf das bei der Zersetzung stickstoffhaltiger Substanzen gebildete Ammoniak, oder durch Vereinigung von Stickstoff und Sauerstoff unter dem Einflusse elektrischer Entladungen, vereinigen sie sich mit dem in der Luft immer vorhandenen Ammoniak zu Nitrit, resp. Nitrat und werden als solche durch die atmosphärischen Niederschläge wiederum der Erde zugeführt. Die Mengen, in welcher beide Gase in der Luft vorkommen, sind so gering, dass ihnen kaum eine Bedeutung für die menschliche Hygiene beigemessen werden kann. Denn nur im Wasser der atmosphärischen Niederschläge hat man bis jetzt messbare Mengen Salpetersäure aufgefunden. Einige dieser Beobachtungen sind in Tabelle XX zusammengestellt.

1) Annales de Chimie et de Physique. Bd. 40. p. 129.

## TABELLE XX.

Im Liter Wasser fanden:		Mg. Salpetersäure
BARRAL <sup>1)</sup> in Paris		1,84 — 36,33
BOUSSINGAULT <sup>2)</sup> in den Vogesen		6,2
" " einem Gewitterregen		0,28
" " Paris		0,4 — 2,1
" " im Wasser aus Nebel condensirt		10,1
" " den Vogesen desgl.		0,4 — 1,8
" " Paris in Schneewasser		0,3 — 4,0
KNOP und SCHREBER <sup>3)</sup>		0,57 — 9,8
WAY <sup>4)</sup> im Regenwasser		0,2 — 1,1
BOBIERRE <sup>5)</sup> in Nantes		1,8 — 16,0
EICHHORN <sup>6)</sup> in Kutschen im Mittel		0,72
" " Insterburg		1,72
" " Regenwalde		2,87
" " Proskau		6,18
" " Marienhütte		0,85
" " Lauersfort		1,01
" " Eldena		2,99
" " Dahme		1,33
GOPPELSRÜDER <sup>7)</sup> in Basel während 1 Jahres, Spur		— 13,6

Ein höherer Gehalt der Luft an Salpetersäure und salpetriger Säure, als er in der Luft im Freien gefunden wird, kommt nur in chemischen Fabriken vor, wo er für die Arbeiter zu einer hochgradigen Belästigungs-, ja sogar Krankheits- und Todesursache werden kann. Wie grosse Mengen dieser Gase jedoch in solchen Fällen in der Luft anwesend sind, darüber liegen keine Beobachtungen vor.

## 6. Ozon und Wasserstoffsuperoxyd.

In der Atmosphäre lassen sich constant Gase nachweisen, welche man als energischere Oxydationsmittel als den gewöhnlichen Sauerstoff anzusprechen hat, denen daher auch allgemein, trotz der geringen Menge in welcher sie vorkommen, eine besonders wichtige Rolle im Haushalte der Natur zugeschrieben wird; es sind dies das Ozon und das Wasserstoffsuperoxyd, früher auch Antozon genannt.

1) Jahresberichte der Chemie. 1852. Bd. 750.

2) Comptes rendues. Bd. 46. p. 1123 u. 1175.

3) KNOP, Der Kreislauf des Stoffes. Bd. 2. S. 59.

4) Journal of the Royal Agricultural Society of England. Bd. 17. p. 142.

5) Jahresberichte der Chemie. 1864. S. 126.

6) Annalen der Landwirtschaft. Bd. 48. S. 97 u. Bd. 51. S. 233.

7) Zeitschrift für analytische Chemie. Bd. 10. S. 259 u. Bd. 11. S. 16.

Das Ozon <sup>1)</sup>, von SCHÖNBEIN <sup>2)</sup> entdeckt, wird heutzutage, nachdem über sein Wesen, seine Entstehung und seine Bedeutung die mannigfachsten und widersprechendsten Ansichten aufgetaucht waren, allgemein als ein aus 3 Atomen Sauerstoff bestehendes Molecül dieses Gases betrachtet (SORET <sup>3)</sup>, WELTZIEN <sup>4)</sup>, BRODIE <sup>5)</sup>). Diese 3 Atome sind jedoch viel lockerer gebunden als die 2 Atome des gewöhnlichen Sauerstoffmolecüls, welchem Umstande das Ozon seine energische Oxydationsfähigkeit verdankt; nach Abgabe eines Atomes O verbleibt ein Molecül gewöhnlicher Sauerstoff.

Schon der Entdecker <sup>6)</sup> hatte das Ozon in der atmosphärischen Luft nachgewiesen und die Entstehung desselben auf elektrische Entladungen zurückgeführt, nachdem er gefunden, dass an Orten, wo der Blitz eingeschlagen hatte, der charakteristische Ozongeruch bemerkt wurde. Obwohl dieser Ansicht von HOUZEAU <sup>7)</sup> widersprochen wurde, hat sich dieselbe doch bis heute erhalten und ist um so weniger in Zweifel zu ziehen, als gerade auf der Einwirkung elektrischer Entladungen auf atmosphärische Luft die meisten Apparate zur künstlichen Darstellung von Ozon basiren.

Als eine sehr ergiebige Quelle des atmosphärischen Ozons wird die Verdunstung von Wasser angesehen; SCOUTETTEN <sup>8)</sup>, BELLUCCI <sup>9)</sup>, FOX <sup>10)</sup>, GORUP-BESANEZ <sup>11)</sup> haben an Orten, an welchen reichlich Wasser zur Verdunstung gelangt, einen höheren Ozongehalt der Luft nachgewiesen als an Orten, wo dieser Vorgang fehlte (BELLUCCI auf dem Meere, SCOUTETTEN in der Nähe grosser Wasserfälle, GORUP-BESANEZ in Gradirwerken u. s. w.), und daraus den Schluss gezogen, dass das Ozon bei Verdunstung von Wasser gebildet werde; allein in

---

1) Die geringe Bedeutung, welche in den späteren Capiteln dem Ozon in hygienischer Beziehung zuzuschreiben sein wird, lässt eine eingehende Aufzählung aller über diesen Körper aufgestellter Hypothesen und Meinungen an dieser Stelle als überflüssig erscheinen. Sehr erschöpfend sind dieselben in ENGLER, „Historisch kritische Studien über das Ozon, Separatabdruck aus Leopoldina 1879, Heft 15“, welchem wir auch bezüglich des Vorkommens des Ozons in der Atmosphäre, soweit nicht neuere Arbeiten in Betracht kommen, gefolgt sind, dargestellt.

2) Berichte über die Verhandl. d. naturforsch. Ges. in Basel. Bd. 4. S. 53.

3) Comptes rendues. Bd. 61. p. 941.

4) Annalen der Chemie u. Pharmacie. Bd. 142. S. 107.

5) Proceedings of the Royal Society of London. Bd. 20. p. 472.

6) Berichte der naturforsch. Ges. zu Basel. Bd. 4. S. 70.

7) Annales de chimie et de physic (4). Bd. 27. p. 60.

8) Comptes rendues. Bd. 42. p. 941 u. Bd. 43. p. 216.

9) Berichte der deutschen chem. Gesellschaft. 1875. S. 905. 1876. S. 581.

10) Ozone and Antozone by Fox. London 1873. p. 100 u. 108.

11) Annalen der Chemie und Pharmacie. Bd. 161. S. 232.

neuester Zeit wird diese Entstehungsursache in Frage gestellt, worauf weiter unten zurückgekommen werden soll.

Ferner wird Ozon bei allen langsamen oder raschen Verbrennungsprocessen gebildet. Schon SCHÖNBEIN<sup>1)</sup> hatte das Auftreten von Ozon bei langsamer Oxydation von Phosphor, Aether, Weingeist, Aldehyd, Terpentinöl, Citronenöl, ferner von Schwefelwasserstoff, schwefliger Säure u. s. w. nachgewiesen, und wurden diese Beobachtungen von vielen anderen Forschern, welche besonders den Chemismus der Ozonbildung durch Phosphor und durch Terpentinöl untersuchten, auch bestätigt (ENGLER, S. 28—30).

Endlich scheint auch Ozon durch die Pflanzen gebildet zu werden, wenigstens liegen Beobachtungen vor, welche dafür sprechen; es sind zwar auch gegen diese Einwendungen erhoben worden, welche aber auch die Frage unentschieden lassen, nachdem feststeht, dass Ozon im Momente der Ausscheidung von Sauerstoff aus chemischen Verbindungen — z. B. beim Erhitzen sauerstoffreicher Stoffe, wie Silberoxyd, Bleisuperoxyd, Quecksilberoxyd, chlores saures Kali u. a. — oder bei Zerlegung des Wassers durch den elektrischen Strom — oder bei Zerlegung sauerstoffreicher Stoffe durch Säuren — entsteht, und somit von vornherein die Berechtigung zu der Annahme, dass wie in jenen Fällen, so auch hier, mit der Ausscheidung von Sauerstoff aus chemischen Verbindungen eine Bildung von Ozon Hand in Hand gehe.

Seit der Entdeckung des Ozons durch SCHÖNBEIN haben zahlreiche Forscher an vielen Orten auf der Erdoberfläche Untersuchungen über die Mengen des atmosphärischen Ozons und deren Schwankungen nach Ort und Zeit angestellt, hauptsächlich veranlasst durch die hohe Bedeutung, die man dem energischen Oxydationsvermögen des Ozons von vornherein zuschrieb, und nicht zum wenigsten wohl auch angezogen durch die Leichtigkeit der Ausführung der vom Entdecker selbst angegebenen Methode der quantitativen Bestimmung des Ozons. Dieselbe besteht nämlich in der Exponirung eines Stückchens Filtrirpapier, welches vorher mit Jodkaliumstärkekleister getränkt und getrocknet wurde. Ozon reducirt das Jodkalium in Kali unter Ausscheidung von Jod, welches letztere eine leichte Verbindung mit Amylum eingeht, die trocken bräunlich gefärbt aussieht, befeuchtet aber blau erscheint. Je nach der Intensität dieser Blaufärbung wird durch Vergleich mit einer bestimmten Farbenscala der Gehalt der Luft an Ozon geschätzt und in Gra ... (der Farbenscala) ausgedrückt.

1) Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Basel. Bd. 6. S. 16.



Gegen diese Methode wird nun in neuerer Zeit eine Reihe von Einwänden erhoben, welche, wenn sie wirklich berechtigt sind, fast alle bezüglich des Ozongehaltes der Luft bis in die neueste Zeit mit Hilfe der SCHÖNBEIN'schen Methode festgestellten Thatsachen und daraus abgeleiteten Schlüsse umzustossen im Stande sind. Diese Einwände sind folgende:

Erstens kommen ausser dem Ozon, wie SCHÖNBEIN selbst schon nachgewiesen hat, Substanzen in der Luft vor, welche ebenfalls Jodkalium zersetzen und folglich Ozonpapier bläuen; vor Allem Wasserstoffsuperoxyd, dann salpetrige Säure, Untersalpetersäure, flüchtige organische Säuren u. s. w.; gleichen Effect hat auch die Bestrahlung der Ozonpapiere durch directes Sonnenlicht <sup>1)</sup>.

Zweitens kann die durch Ozon bewirkte Blaufärbung des Papiers durch verschiedene andere Stoffe wieder vernichtet werden; so durch schweflige Säure, Schwefelwasserstoff und viele organische Substanzen; auch kann das freigewordene Jod sich unter Umständen verflüchtigen und dadurch eine geringere Ozonmenge vorgetäuscht werden, als wirklich zur Einwirkung auf das Ozonpapier gelangte (FOX <sup>2)</sup>).

Ein dritter Vorwurf wurde von WOLFFHÜGEL <sup>3)</sup> dagegen erhoben, dass bei dem Verfahren der einfachen Exponirung eines Stückes Ozonpapier in der zu untersuchenden Luft auf die mit dem Papiere in Berührung tretenden Luftmengen keine Rücksicht genommen werde. Man könnte auch in der That nur dann zufriedenstellende Resultate von dieser Methode erwarten, wenn das Ozon nur einfach absorbirt würde, sich also zuletzt ein Gleichgewichtszustand zwischen Tension des Ozons in der Luft und der im Papiere absorbirten Ozonmenge ausbilden würde, ähnlich wie die Ausdehnung des Haares am Hygrometer der Tension des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes entspricht, aber von der Menge der vorüberstreichenden Luft unabhängig ist. Nun wird aber im Ozonpapiere das Ozon zerlegt und können mithin immer wieder neue Mengen davon aufgenommen werden, so lange noch Substanzen vorhanden sind, welche dasselbe zu binden vermögen. Will man also aus der Färbung der Papiere auf die Menge des in der Luft enthaltenen Ozons schliessen, so müssen gleiche Luftmengen bei den Beobachtungen verwendet werden, was

---

1) FLÜGGE, Lehrbuch der hygien. Untersuchungsmethoden. S. 97. ENGLER, Historisch kritische <sup>6</sup> <sup>11</sup> über das Ozon in „Leopoldina“. 1879. Hft. 6. Sep.-Abdruck. S. 39.

2) FOX, Ozone and Antiozone. p. 271.

3) Zeitschrift für Biologie. Bd. 11. S. 430.

bei dem grossen Wechsel der Luftgeschwindigkeit im Freien ohne Anwendung eigener Apparate nicht wohl möglich ist. Es erscheinen somit die zu verschiedenen Zeiten erhaltenen Ozonreactionen nicht vergleichbar, soferne nicht jener Einwand WOLFFHÜGEL's ausgeschlossen wurde.

Wie berechtigt dieser Einwand ist, geht übrigens daraus hervor, dass nach BÖHM <sup>1)</sup> die Windstärke mit dem Ozongehalte die genaueste Coincidenz zeigt und dass FOX (l. c.) die Methode der Ozonbestimmung mehr als eine anemometrische als eine ozonometrische bezeichnet.

Ein ebenso schwer wiegender Vorwurf ist der, welcher in neuerer Zeit besonders von SCHÖNE <sup>2)</sup> erhoben wird, welcher der Methode vielmehr die Bedeutung einer hygrometrischen als einer ozonometrischen zuschreibt; man weiss nämlich, dass trocknes Ozon, respective trockne ozonhaltige Luft auf Ozonpapier nicht einwirkt (ENGLER und NASSE <sup>3)</sup>); auch ist bekannt, dass ein gewisser Grad von Feuchtigkeit der Luft zum Zustandekommen der Reaction nöthig ist; es lässt sich überdies experimentell nachweisen, dass je weniger die Luft mit Wasserdampf gesättigt ist, um so geringere Ozonreaction bei gleichem Gehalte der Luft an Ozon auftritt und umgekehrt. Leitet man Luft von irgend einem Ozongehalte in Gefässe ein, in deren Innerem durch verschieden concentrirte Schwefelsäure verschiedene Feuchtigkeitsgrade der Luft künstlich hergestellt werden, so bläuen sich Ozonpapiere, welche in diesen Gefässen angebracht sind, dort am meisten, wo die relative Feuchtigkeit am höchsten ansteigt. Ein geringerer Ozongehalt, sagt SCHÖNE (l. c.), kann bei starker Sättigung der Luft mit Feuchtigkeit viel stärkere Färbung der Ozonpapiere hervorrufen, als ein höherer Ozongehalt bei grösserer Trockenheit.

Mit diesen experimentellen Nachweisen stimmen denn auch die massenhaften Beobachtungen über den Ozongehalt der Luft im Freien. Meist hat man zu Zeiten und an Orten, welche einen hohen Feuchtigkeitsgehalt der Luft aufweisen, auch einen hohen Ozongehalt der Luft gefunden. So constatiren die meisten Beobachter, dass die Nachtluft mehr Ozon enthalte als die Luft bei Tage (PRESTEL, GRÄGER, POEY, SCOUTETTEN, ZITTEL, ASCHERSON u. A. <sup>4)</sup>). Nun erreicht aber die relative Feuchtigkeit ihr Maximum während der Nacht und ihr Minimum unter Tags (s. oben S. 17) und liegt somit die Annahme

---

1) Wiener Academieberichte. 1853. Bd. 11. S. 409.

2) Berichte der deutschen chem. Gesellschaft. 1880. Bd. 13. S. 1509.

3) Annalen der Chemie und Pharmazie. Bd. 154. S. 215.

4) Vergl. ENGLER (l. c.) S. 49. FOX (l. c.) S. 59.

nahe, dass die Vermehrung resp. Verminderung der relativen Feuchtigkeit die Zunahme resp. Abnahme des Ozons vorgetäuscht habe.

Bei Regen, Schneefall, Hagelschlag und nach Gewittern wurde übereinstimmend eine Zunahme des Ozons in der Luft nachgewiesen<sup>1)</sup>. Da nun aber in allen diesen Fällen eine Vermehrung der relativen Feuchtigkeit der Luft kaum auszuschliessen sein dürfte, so muss es unentschieden bleiben, ob, wie man es bisher gethan hat, aus der intensiveren Färbung auf eine wirkliche Vermehrung des Ozons zu schliessen sei — sei es nun infolge reichlicherer Bildung durch Verdunstung von Wasser oder infolge verminderter Consumption, welche durch die Reinigung der Luft von Staub bedingt sein könnte (FOX<sup>1)</sup> und WOLFFHÜGEL<sup>2)</sup>) — oder ob nicht eben die Erhöhung der relativen Feuchtigkeit in diesen Fällen die directe Ursache der intensiveren Ozonreaction bei gleichbleibendem Ozongehalte der Luft sei.

Ein Gleiches gilt für jene Beobachtungen, welche in der Nähe grösserer Wasserflächen, am Meere, auf Inseln, in Küstenländern, in Wäldern, nahe bei Wasserfällen, Fontainen, Landseen, auch Gradirwerken einen höheren Ozongehalt der Luft ergaben als an entfernten Orten<sup>3)</sup>, auch hier besteht im Hinblick auf die oben angeführten Experimente die Berechtigung zu der Annahme, dass die grössere relative Feuchtigkeit der Luft und nicht eine Erhöhung des Ozongehaltes die intensivere Färbung der ausgesetzten Papiere verursacht habe. Damit wird aber auch die Bedeutung der Wasserverdunstung als Quelle des atmosphärischen Ozons in Frage gezogen (SCHÖNE, S. 1510) und wird dies wohl auch bleiben müssen, da es vorerst nicht wohl möglich ist, den Einfluss der relativen Feuchtigkeit bei Versuchen mit ozonhaltiger Luft auszuschliessen, ohne einen Verlust an Ozon zu erleiden.

Es erhellt somit aus dem Vorausgehenden, dass über die absoluten und relativen Mengen, in welchen das Ozon in der Atmosphäre vorkommt, so viel wie Nichts sicher erwiesen ist, nachdem die bisher zur Bestimmung desselben angewandten Methoden mit so grossen Fehlern behaftet sind, dass von einer Ozonometrie nicht die Rede sein kann; höchstens lassen sich die SCHÖNBEIN'schen und HOUZEAU'-

1) Fox (l. c.) S. 74.

2) Zeitschrift für Biologie. Bd. 11. S. 408.

3) EBERMAYER berichtet, dass die Luft im Walde im Mittel aus einer grösseren Beobachtungsreihe 8,02 Grade zeigte, dass aber mit dem gleichen Ozonpapiere in Leipzig nur 4,5 Grade, in Zwickau 2,95, in Greiz sogar 1,8 Grade beobachtet wurden, während in dem rings von Wäldungen umgebenen Aschaffenburg der Ozongehalt im Mittel 6,51 Grade betrug. (Die physikalischen Einwirkungen des Waldes auf Luft und Boden. Bd. I. S. 243.)

sehen Papiere als „Ozonoskope“ benützen zum Nachweise, ob Ozon überhaupt in einer Luft vorhanden ist oder nicht.

Was nun diese letztere Frage anlangt, so scheint das Ozon in der Luft im Freien nie gänzlich zu fehlen. Dagegen mangelt es häufig in der Luft der Städte, und fehlt fast ausnahmslos in der Wohnungsluft. So beobachtete HOUZEAU <sup>1)</sup>, der die Anzahl der Tage, an welchen er überhaupt im Freien eine Ozonreaction erhielt, zählte, im

Januar 1862	. . .	auf dem Lande	12	Tage
„	„	. . .	in Rouen	3
„	„	. . .	„ Paris	0
ebenso im März 1863	. . .	auf dem Lande	30	„
„	„	. . .	in Rouen	7
„	„	. . .	in Paris	0

Derartige Differenzen können unmöglich auf die Einwirkung der relativen Feuchtigkeit zurückgeführt werden; in diesem Falle handelt es sich entschieden um einen Verlust an Ozon, welchen die Luft im Innern der Städte erleidet. Auch ANGUS SMITH konnte in der Stadt Manchester kein Ozon nachweisen, ebenso BÖHM in Prag, TRIPE und EVANS in London, ROGERS in Boston und Andere <sup>2)</sup>. Alle diese Beobachter nehmen an, dass die Unreinigkeiten in den Strassen, besonders aber Staub und Ausdünstungen von sich zersetzenden Stoffen, sowie endlich der Rauch der Wohnhäuser und Fabriken das in der Luft vorhandene Ozon in Beschlag nehmen und mit ihm, resp. einem seiner 3 Sauerstoffatome sich verbinden.

Auf das Fehlen des Ozons in der Wohnungsluft war schon von HEATON <sup>3)</sup>, BURDER <sup>3)</sup>, HOUZEAU <sup>4)</sup> hingewiesen worden; WOLFFHÜGEL <sup>5)</sup> unterzog diese Frage einer eingehenden und mühevollen Untersuchung, welche unter Berücksichtigung aller bekannter Cautelen ausgeführt zu dem Resultate führte, dass das Ozon in der Wohnungsluft fast ausnahmslos fehle und dass dieser Mangel durch die Verunreinigungen der Wohnräume und deren Luftwege, welche leicht oxidirbar sind, also Ozon zerstören, hervorgerufen werde. WOLFFHÜGEL hatte sein Augenmerk hauptsächlich auf den Mörtel gerichtet und fand auch wirklich eine Verminderung des Ozongehaltes durchgeleiteter Luft; aber auch Staub aus Ventilationskanälen erwies sich als energischer Ozonzerstörer, weshalb WOLFFHÜGEL sich veranlasst

1) Annales de chimie et de physique (4). Bd. 27. 'p. 27.

2) Fox, Ozone and Antozone. p. 94.

3) Ibidem. p. 107.

4) Comptes rendues. Bd. 46. p. 89.

5) Zeitschrift für Biologie. Bd. 11. S. 408.



sah, speciell den Verunreinigungen der Luftwege für freiwillige und künstliche Ventilation die Rolle der Ozonzerstörer zuzuschreiben. Man dürfte jedoch nicht zu weit gehen, wenn man auch noch andere Stoffe, die nicht als Verunreinigungen angesehen werden können, für den Ozonmangel verantwortlich macht. Man weiss, wie ängstlich alle organischen Stoffe beim Experimentiren mit ozonhaltiger Luft fern gehalten werden müssen, um einen Verlust an Ozon zu vermeiden (Holz, Kork, Kautschuk, Papier u. s. w.). Warum sollten nicht auch die nicht verunreinigten Bestandtheile des Hauses und seiner Einrichtung als Ozonzerstörer zu betrachten sein, da sie doch zu einem grossen Theile (Holz, Tapeten, verschiedene Zeuge u. s. w.) organischer Natur sind?

In neuester Zeit wird nun auch die Existenz des Ozons in der Luft überhaupt durch SCHÖNE<sup>1)</sup> in Frage gestellt. SCHÖNE hatte eingehende Untersuchungen über den Gehalt der Luft an Wasserstoffsuperoxyd angestellt, von denen weiter unten die Rede sein soll. Die dabei erhaltenen Resultate stimmen nun vollständig überein mit Resultaten, die er erhielt, als er den Ozongehalt der Luft mittelst Thalliumoxydulpapieres zu ermitteln suchte, welches er dem Jodkaliumstärkepapier aus dem Grunde vorzog, weil Thalliumoxydul durch die Einwirkung von Ozon oder von Wasserstoffsuperoxyd ohne Mitwirkung der Feuchtigkeitsverhältnisse der umgebenden Luft in braunes Oxyd umgewandelt wird. Diese Uebereinstimmung der beiden Versuchsreihen gestattet die Annahme, dass die Reaction im letzteren Falle durch das Wasserstoffsuperoxyd allein hervorgebracht worden sei, und es erscheint demnach die Annahme eines anderen oxydirenden Agens in der Luft ausser Wasserstoffsuperoxyd durchaus nicht nöthig. Gleichwohl hält SCHÖNE die Frage, ob nur Ozon oder nur Wasserstoffsuperoxyd oder beide zusammen in der Luft vorhanden sind, durch seine Versuche noch nicht für gelöst und verspricht neue in dieser Richtung anzustellende Untersuchungen.

Mehr Positives als über das Ozon lässt sich über das Wasserstoffsuperoxyd in der Luft berichten Dank den eingehenden Versuchen SCHÖNE's. Schon SCHÖNBEIN hatte in den atmosphärischen Niederschlägen einen Körper entdeckt, welchen er Antozon benannte, aber lange hat es gedauert und viele Kämpfe gekostet, bis man über die Natur desselben ins Reine kam; es seien hier nur die Namen der Forscher angeführt, welche sich an jenen Untersuchungen betheiligt haben. Ausser SCHÖNBEIN waren es vorzüglich CLAUSIUS<sup>2)</sup> und MEISSNER<sup>3)</sup>, welche die Theorie des ersteren stützten, dagegen

1) Berichte der deutschen chem. Gesellschaft. Bd. XIII. S. 1503.

2) POGGENDORF's Annalen. Bd. 103. S. 644.

3) Untersuchungen über den Sauerstoff. Hannover bei HAHN 1863. Neue Untersuchungen über den Sauerstoff. Braunschweig, bei DIETRICH. 1869.

trat zuerst BERTHELOT<sup>1)</sup> und WELTZIEN<sup>2)</sup> auf, ihnen folgten dann BRODIE<sup>3)</sup>, V. BABO<sup>4)</sup>, HOFFMANN<sup>5)</sup>, ENGLER und NASSE<sup>6)</sup> und Andere; besonders den beiden Letztgenannten verdankt man endlich den Nachweiss, dass das Antozon nichts Anderes als Wasserstoffsuperoxyd sei, was auch von DEBUS<sup>7)</sup> und Anderen bestätigt wurde<sup>8)</sup>. Wasserstoffsuperoxyd ist bekanntlich ein Molecül  $\text{H}_2\text{O}_2$ , aus welchem unter Bildung eines Molecüles Wasser,  $\text{H}_2\text{O}$ , ein Atom Sauerstoff leicht ausgeschieden werden kann. Es scheint in der Luft constant vorzukommen; SCHÖNE<sup>9)</sup> hat zuverlässige Bestimmungen seiner Quantitäten in den atmosphärischen Niederschlägen ausgeführt, welche einen Rückschluss auf die Mengen, in welchen es in der Atmosphäre vorkommt, gestatten. Seine Resultate sind im Wesentlichen folgende: Die atmosphärischen Niederschläge enthalten fast immer  $\text{H}_2\text{O}_2$ , wenn auch nur in geringer Menge. Von 215 Regen- und Hagelproben konnte nur in 7 kein  $\text{H}_2\text{O}_2$  nachgewiesen werden und unter diesen 7 Fällen waren wiederum 4, in welchen einer Verzögerung der Untersuchung an dem Ausbleiben der Reaction Schuld gegeben werden

TABELLE XXI.

## Milligramme Wasserstoffsuperoxyd.

	N	NE	E <sup>10)</sup>	SE	S	SW	W	NW	Im Allgem.
In 1 Lt. Niederschlag .	0,203	0,008	0,038	0,120	0,113	0,254	0,245	0,221	0,182
Auf 1 Qmt. Land . . .	6,115	0,173	1,842	16,506	4,739	25,896	33,990	20,129	109,390

musste. Bei festen Niederschlägen, Schnee und Graupeln, ereignete es sich viel öfter, dass kein  $\text{H}_2\text{O}_2$  aufgefunden werden konnte; unter 172 Fällen 86 mal. In SCHÖNE's über ein ganzes Jahr sich erstrecken-

1) Annales de chimie et de physique (3). Bd. 58. p. 426.

2) Annalen der Chemie u. Pharmacie. Bd. 115. S. 121.

3) Jahresberichte der Chemie. 1861. S. 104.

4) Annalen der Chemie u. Pharmacie. Suppl. 2. S. 265.

5) POGGENDORF's Annalen. Bd. 132. S. 607.

6) Annalen der Chemie u. Pharmacie. Bd. 154. S. 215.

7) Chemical News. Bd. 23. p. 272.

8) ENGLER, Historisch kritische Studien über das Ozon. S. 13 u. 19.

9) Berichte der deutschen chem. Gesellschaft. Bd. 17. S. 1693. Bd. 11. S. 482, 561, 874 u. 1028 u. Bd. 13. S. 1503.

10) Die Himmelsrichtung Ost wird nach internationaler Uebereinkunft der Meteorologen mit E (east) bezeichnet.

der Versuchsreihe machen sich besonders zwei Factoren geltend, die Windrichtung und die Jahreszeit. Der erste Einfluss tritt insoferne deutlich hervor, als bei Süd-, Südwest- und Westwind die Niederschläge ungleich reicher an  $\text{H}_2\text{O}_2$  sind, als bei anderen Windrichtungen, wie aus folgender Tabelle XXI hervorgeht.

In Fig. 6 wurden die Resultate der Tab. XXI zur Construction einer Windrose des Wasserstoffsuperoxydes in der Weise verwendet, dass die Mengen des  $\text{H}_2\text{O}_2$  in 1 Lt. Niederschlag auf die mit den Windrichtungen bezeichneten Radien eines Kreises vom Centrum aus aufgetragen und die erhaltenen Punkte miteinander verbunden wurden.

Es sind also die mit dem Aequatorialstrome kommenden Winde, welche am reichsten an  $\text{H}_2\text{O}_2$  sind, während die polaren aus Nordost und Ost wehenden Winde den geringsten Gehalt aufweisen. Der Einfluss der Jahreszeit geht aus der folgenden Tabelle XXII und Fig. 7, in welcher die  $\text{H}_2\text{O}_2$ -Gehalte der Niederschläge graphisch dargestellt sind, deutlich hervor.

Mai, Juni, Juli und August, also die Sommermonate, zeigen den höchsten Gehalt der Niederschläge an  $\text{H}_2\text{O}_2$ , während die kältesten Monate November, December, Januar und Februar die Monate des Minimums sind.

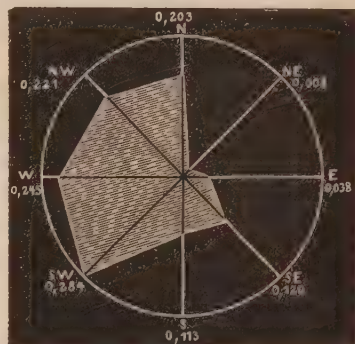
TABELLE XXII.

Milligramme Wasserstoffsuperoxyd.

	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
In 1 Lt. Niederschl.	0,025	0,026	0,049	0,038	0,249	0,404	0,499	0,240	0,211	0,148	0,034	0,022
Auf 1 Qmt. Land	1,113	0,252	0,904	0,859	18,157	21,176	26,994	23,224	7,732	4,964	1,624	2,441

Der so geringe Gehalt der Niederschläge im Winter und das plötzliche Ansteigen desselben im Monate Mai, und wiederum der jähe Abfall desselben von October auf November deuten darauf hin, dass die festen Niederschläge, Schnee und Graupeln, die Fähigkeit  $\text{H}_2\text{O}_2$  zu absorbiren, welche der Regen besitzt, zum Theile eingebüsst haben. SCHÖNE machte auch in der That die Beobachtung, dass im Winter gefallener Regen immer reicher an  $\text{H}_2\text{O}_2$  ist, als der vorher

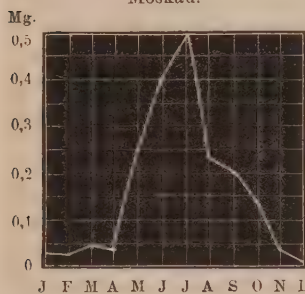
Fig. 6.



oder nachher gefallene Schnee; doch darf dieser Einfluss des Aggregatzustandes nicht zu sehr überschätzt werden, denn andererseits konnte SCHÖNE auch nachweisen, dass der Hagel viel reicher an  $H_2O_2$  ist als der Schnee, und ist also auch der Schluss gestattet, dass nicht nur der  $H_2O_2$ -Gehalt der Niederschläge, sondern auch der der atmosphärischen Luft sich so verhält, wie eben beschrieben wurde. Die Richtigkeit der aus den Beobachtungen des  $H_2O_2$ -Gehaltes der Nieder-

Fig. 7.

Jährliche Periode des  $H_2O_2$  in  
Moskau.



schläge resultirenden jährlichen Periode des Wasserstoffsuperoxydes wird überdies noch wesentlich unterstützt durch die Ergebnisse künstlicher Thaubildung, welche folgende Zahlen ergaben. (Tab. XXIII).

Es würde zu weit führen, die Untersuchungen SCHÖNE's noch mehr ins Detail zu verfolgen; wie ersichtlich, handelt es sich auch hier wie beim Ozon um Grössen, welche kaum mehr messbar sind, und zwar deswegen, weil die genannten Gase in ihrer hochgradigen Verdünnung im Luftmeere kaum mehr eine bemerkliche Wirkung zu äussern im Stande sind. Dieser Umstand muss aber auch den gerechtesten Zweifel erregen, ob dann, wenn in der Verdünnung derselben ein Hinderniss für eine wahrnehmbare Einwirkung auf irgend in der Luft vorhandene gasförmige oder feste Stoffe gegeben ist, jenen Gasen noch irgend eine hygienische Bedeutung zuzuschreiben sei, umsomehr, wenn bis jetzt nicht eine einzige Thatsache aufgefunden werden konnte, welche irgend einen physiologischen oder pathologischen Einfluss Seitens des Ozons oder Wasserstoffsuperoxydes der Atmosphäre darzuthun im Stande wäre. Da diese Erwägungen in einem späteren Capitel zu

TABELLE XXIII.

### Milligramme Wasserstoffsuperoxyd.

	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Dec.	März	Juni	Juli
In 1 Lt. künstl. Niederschläges . . .	0,144	0,105	0,071	0,056	0,045	0,055	0,128	0,137

einem negativen Resultate führen werden, so glaubte Verfasser sich an dieser Stelle auf das im Vorausgehenden Gesagte beschränken zu können; ein tieferes Eingehen auf die verschiedenen Hypothesen



und Streitigkeiten über Natur und Entstehungsweise der beiden Gase muss der Chemie zugewiesen werden, welcher es hoffentlich auch gelingen wird bessere Methoden, als die bis jetzt bekannten aufzufinden, an der Hand deren es dann auch vielleicht möglich sein wird, eine hygienische Bedeutung des Ozons und Wasserstoffsuperoxydes aufzufinden.

## 7. Gasförmige Verunreinigungen der Luft.

Unter den Begriff der gasförmigen Verunreinigungen der Luft fallen nicht nur alle Beimengungen anderer als der bis jetzt abgehandelten Gasarten, welche also keine constanten Bestandtheile der atmosphärischen Luft ausmachen, sondern auch alle abnormen Mengenverhältnisse dieser letzteren selbst, wie z. B. hoher Kohlensäure- oder Ammoniakgehalt der Luft, verminderter Sauerstoffgehalt derselben u. s. w.

Alle Gase, welche an der Erdoberfläche frei werden, entweichen in die Atmosphäre, wo sie entweder in andere chemische Verbindungen umgewandelt werden — wie z. B. das gasförmige Ammoniak, welches mit Kohlensäure, Salpetersäure oder salpetriger Säure Salze bildet — oder unverändert bestehen bleiben; in keinem von beiden Fällen ist jedoch ihr Verweilen in der Atmosphäre von langer Dauer, da gewisse Vorgänge im Luftmeere beständig für deren Entfernung thätig sind und die Luft somit rein erhalten. Es sind dies vor Allem die atmosphärischen Niederschläge und die Lebensvorgänge in der Pflanzenwelt. Es wurde schon oben darauf hingewiesen, dass das Regenwasser constant Kohlensäure, Ammoniak, Salpetersäure, salpetrige Säure, Wasserstoffsuperoxyd enthält, ebenso wurden aber auch andere Stoffe nachgewiesen, welche als Gase in die Luft gelangten, vor Allem Schwefelsäure und theerartige Producte, herrührend von der Verbrennung von Steinkohlen, ferner Phosphorsäure, Arsenik, Chlor <sup>1)</sup>, aus den gasförmigen Producten mancher Gewerbebetriebe <sup>2)</sup>, auch Schwefelammonium wurde im Regenwasser nachgewiesen <sup>3)</sup>.

1) Die zahlreichen Untersuchungen über den Gehalt an organischen Substanzen, wie sie von MARGGRAF, SMITH, VOGEL, BOUSSINGAULT und der englischen River pollution Commission ausgeführt wurden, geben keinen Aufschluss über die gasförmige Verunreinigung der Luft, da sowohl der zur Oxydation verwendete Sauerstoff, als auch die aufgefundenen Mengen Stickstoff, Kohlenstoff, Chlor in jenen Versuchen ebensowohl, vielleicht zum überwiegenden Theile auf organischen Staub bezogen werden müssen.

2) Sixth Report of the Commissioners, appointed to inquire into the best means of preventing the pollution of rivers. London 1874. p. 27.

3) FISCHER, Chemische Technologie des Wassers. S. 86.

Auch des anderen Factors, welcher für die Reinerhaltung des Luftmeeres sorgt, der Vegetation, geschah schon oben bei Erörterung über den Verbleib der Kohlensäure Erwähnung. Ueberdies ist die Entwicklung von anderen Gasen als jenen, welche constant in der Luft vorkommen, eine ganz verschwindende im Vergleiche mit der Masse der atmosphärischen Luft, welche dieselben aufnimmt, und darf es daher nicht Wunder nehmen, wenn man in der Luft im Freien andere als normale Bestandtheile derselben für gewöhnlich nicht nachzuweisen vermag.

Nur ganz local in der Nähe der Entwicklungsstätten von Gasen lässt sich unter Umständen auch in der Luft ausserhalb des Hauses eine gasförmige Verunreinigung derselben nachweisen, welche aber meist so gering ist, dass die besten chemischen Hilfsmittel im Stiche lassen und einzig der Geruchssinn zur Feststellung der Thatsache verhelfen kann, weshalb es auch nicht möglich ist, Zahlenbelege hierfür beizubringen.

An der Erdoberfläche gehen beständig Zersetzungen vor sich, welche an manchen Stellen besondere Intensität erreichen, z. B. in Sümpfen; in der über ausgedehnten Sümpfen befindlichen Luft findet man denn auch in der Regel grössere Mengen Kohlensäure, als über trockenem Lande, nach PARKES <sup>1)</sup> 0,6—0,8 % Promille; von fremden Gasen aber lässt sich nur Sumpfgas und Schwefelwasserstoff nachweisen. DANIELL <sup>2)</sup> beobachtete letzteren in den Malaria-districten von Afrika, SAVI <sup>3)</sup> in den Maremnen von Mittelitalien. Nach ROTH und LEX <sup>4)</sup> kommen auch Kohlenwasserstoffe und Phosphorwasserstoff (?) in der Sumpfluft vor.

Stätten, an welchen grosse Mengen thierischer oder auch menschlicher Cadaver offen an der Luft verfaulen, oder wo Abfälle des menschlichen Haushaltes in grösserer Menge angesammelt werden, bedingen häufig eine mehr oder weniger intensive Verunreinigung der Luft durch Gase, welche man mit dem collectiven Namen Fäulnissgase bezeichnet, worunter eine grosse Anzahl verschiedener Körper, unter denen der Menge nach die Kohlensäure immer überwiegt, subsumirt wird: Schwefelwasserstoff, Ammoniak, Amine, Grubengas, flüchtige Fettsäuren u. A. Abdeckereien, Kirchhöfe mit schlechtem Betriebe, Abtrittgruben, Flüsse, in

1) PARKES Manual of Hygiene. 5. Aufl. von FR. DE CHAUMONT. London 1878. p. 111.

2) Annales de chimie et de physique. (3) B. 3. p. 334.

3) Ibidem p. 344.

4) ROTH und LEX, Handbuch der Militär-Gesundheitspflege. Bd. 1. S. 212.

welche Kanalinhalt und Abfallstoffe aller Art in zu grossen Massen eingeleitet werden, können die Luft ihrer Umgebung unter Umständen auf weite Strecken hin mit übelriechenden gasigen Zersetzungsproducten erfüllen; eines der bekanntesten Beispiele dieser Art ist die Verunreinigung der Luft in London, ausgehend von der hochgradig durch Kanalinhalt und Fabrikabwässer verunreinigten Themse, welche im Jahre 1855 eine derartige Höhe erreichte, dass das Parlament geschlossen werden musste.<sup>1)</sup> Auch die Verunreinigung der Seine durch Abwässer aller Art führte unterhalb von Paris zu bedeutender Verschlechterung der Luft durch Fäulnissgase.<sup>2)</sup> Eine gewisse Berühmtheit erlangte auch die grosse Abdeckerei in Montfaucau<sup>3)</sup> bei Paris, woselbst jährlich 10—12000 Pferde und 25—30000 kleinere Thiere an freier Luft verwesten, was zu vielfachen Klagen von Seiten der Adjacenten über intensivste Verpestung der Luft führte u. s. f. (Vergleiche die Abschnitte: Entfernung der Abfallstoffe und Beerdigungswesen in diesem Handbuche.) In gleicher Weise wird an manchen Orten die Luft durch gewerbliche Etablissements, bei deren Betriebe eine bedeutende Entwicklung von Gasen stattfindet, verunreinigt, wenn diese Gase ungehindert entweichen können. In Fabrikstädten, in welchen grosse Mengen Steinkohle verbrannt werden, findet man in der Luft und in den Niederschlagswässern Schwefelsäure, welche durch Oxydation der bei der Verbrennung gebildeten schwefligen Säure entsteht. Nach KNAPP<sup>1)</sup> enthält die Steinkohle im Mittel aus 238 Analysen 1,7 % Schwefel, von denen kaum mehr als 0,2 % in der Asche zurückbleiben. Aus 1000 Tonnen Steinkohle werden somit 15 Tonnen Schwefeldioxyd gebildet, welche in der Luft in Schwefelsäure übergeführt werden. In 1000 Cbm. Londoner Luft wurden 1,67 Grm. Schwefelsäure nachgewiesen, in der Luft von Manchester sogar 2,518 Grm. Nach SMITH<sup>4)</sup> hört in Manchester die Vegetation überhaupt auf. Ergiebige Quellen für schweflige Säure finden sich in manchen Fabrikbetrieben, in welchen sie durch chemische Operationen entwickelt wird. So in Schwefelsäurefabriken, Ultramarinfabriken, Glaubersalzfabriken und bei Hüttenbetrieben. Für 100 Kilo Ultramarin werden 40 Kilo Schwefel als Schwefeldioxyd in die Luft geschickt, so dass also eine Fabrik mit einer

---

1) PETTENKOFER, Zeitschrift für Biologie. Bd. 10. S. 498.

2) Commissionsbericht an das Ministerium der öffentlichen Arbeiten zu Paris. Deutsch in den Veröffentlichungen über Reinigung und Entwässerung von Berlin. 1876. Anhang III. S. 5.

3) RIECKE, Ueber den Einfluss der Verwesungsdünste. 1840. S. 16.

4) DINGLER's polytechn. Journal. Bd. 220. S. 87.



jährlichen Production von 200 000 Kilo Ultramarin 160 000 Kilo schweflige Säure entweichen lässt.<sup>1)</sup> Eine belgische Commission<sup>2)</sup> constatirte, dass aus zwei Schwefelsäurefabriken täglich 4000 Cbm. Schwefeldioxyd entweichen. An Orten, an welchen viele technische Etablissements nahe beisammen liegen und chemische und Hüttenindustrie betrieben werden, treten infolge collossaler Entwicklung von sauren Gasen beträchtliche Schädigungen der Vegetation zu Tage. In St. Helens werden nach HASENCLEVER<sup>3)</sup> im Jahre 1 440 000 Ctr. saure Gase an die Luft abgegeben, worunter 58 % schweflige Säure, welche aus verbrannten Steinkohlen stammt. Bei Stolberg werden auf einem Areale von 650 Hectaren aus 220 Schornsteinen im Jahre 600 000 Ctr. saure Gase der Luft beigemischt, wovon 40 % aus der verbrannten Steinkohle entwickelt werden. Sodafabriken verunreinigen die Luft mit Salzsäuregas, Ammoniakfabriken mit Schwefelwasserstoff, Schwefelammonium, Arsenwasserstoff, Kautschukfabriken mit Schwefelkohlenstoff, Talgsmelzereien, Gerbereien, Poudrettefabriken mit flüchtigen Fettsäuren, Fäulnissgasen u. s. w. Trotz der vorerwähnten collossalen Mengen von Gasen, welche unter Umständen der Luft übergeben werden, ist es nur in den seltensten Fällen möglich, in der Luft der nächsten Umgebung messbare Mengen derselben aufzufinden, so schnell vermischen sie sich und vertheilen sich in der Atmosphäre, zum Theile durch mechanische, zum Theile durch Diffusionsströmungen; immerhin aber machen sie sich bemerklich durch ihre Einwirkung auf das menschliche Geruchsorgan, eventuell auch durch schädigende Wirkungen in specie auf die Vegetation, wovon später noch die Rede sein wird.

Eine ungleich höhere Bedeutung erhält die Verunreinigung der Luft durch gasförmige Beimengungen in geschlossenen Räumen; die folgenden Zeilen sollen eine gedrängte Uebersicht der hierbei in Betracht kommenden Eventualitäten geben.

Ueberblickt man die verschiedenen Factoren, welche gasförmige Verunreinigungen der Luft im geschlossenen Raume verursachen können, so lassen sich drei Gruppen solcher unterscheiden; entweder liegen sie in der nächsten Umgebung und der Construction der umschliessenden Wände, oder in der blossen Anwesenheit von Menschen und Thieren und deren Lebensfunctionen, oder endlich in der Beschäftigungsweise der Bewohner.

1) Amtlicher Bericht der Wiener Weltausstellung. Bd. 3. Abth. 1. S. 495.

2) DINGLER's polytechn. Journal. Bd. 145. S. 377.

3) HASENCLEVER, Ueber die Beschädigung der Vegetation durch saure Gase. Berlin 1879. S. 12.



Was die erste Gruppe von Ursachen anlangt, so ist zunächst der innige Zusammenhang aller menschlicher Wohnstätten mit dem Erdboden, auf welchem und in welchen hinein sie construirt sind, eine häufig aufzufindende Quelle der Luftverderbniss. Die im Boden, resp. dessen Poren enthaltene Luft, die Grundluft (v. PETTENKOFER), ist fast immer in Bewegung nach dem Hause zu und führt mit sich beträchtliche Mengen Wasser und Kohlensäure. Das Wasser entstammt vor Allem den in den Boden eingedrungenen atmosphärischen Niederschlägen, die Kohlensäure den Zersetzungsprocessen organischer Körper im Boden (Abfälle der Vegetationsdecke, des menschlichen Haushaltes, menschliche und thierische Leichen u. s. w.). Man weiss allerdings, dass bei diesen Zersetzungsprocessen auch andere Körper, welche entweder selbst Gase sind oder gasförmige Riechstoffe abgeben, entstehen, Ammoniak, Schwefelwasserstoff, flüchtige Fettsäuren, Amine u. s. w., jedoch werden diese Stoffe nur in den seltensten Fällen auf diesem Wege zu einer Bedeutung gelangen, da sie im Boden selbst absorbiert werden können. Nur in ganz seltenen Fällen, wenn abnorm grosse Mengen organischer Stoffe einem Boden übergeben werden, welcher dieselben nicht zu bewältigen, d. h. deren Zersetzungsproducte zu absorbiren vermag, ist es möglich, ja sogar wahrscheinlich, dass auch von den genannten Gasen und Riechstoffen geringe Mengen in die Luft übergehen und dieselbe verderben. Der sogenannte Gräbergeruch, welchen man unter Umständen, aber selten auf Friedhöfen und in deren nächster Umgebung beobachtet hat, rührt ebenfalls von gasförmigen Fäulnissproducten her, welche aus Gräbern, die kurze Zeit nach der Beerdigung wieder geöffnet wurden, oder von organischen Resten, welche bei diesem Ereignisse auf die Oberfläche des Bodens gelangten und dort liegen blieben, entweichen. (Vergl. SCHUSTER, Beerdigungswesen.) Ungleich wichtiger als die der Verwesung oder Fäulniss im Boden entstammenden Gase kann unter Umständen das Leuchtgas werden, wenn es aus einer in den Erdboden gelegten Leitung zu entweichen Gelegenheit findet. Das (Steinkohlen-) Leuchtgas ist ein Gemenge vieler Gasarten: Wasserstoff, Sumpfgas, Kohlenoxyd, schwere Kohlewasserstoffe (Aethylen, Propylen, Butylen, Acetylen, Allylen und Benzol), Kohlensäure und Stickstoff, deren Verhältniss zu einander ein variables ist. Der schädlichste Bestandtheil desselben ist jedenfalls das Kohlenoxyd, dessen Menge im unveränderten Leuchtgas zwischen 3 und 15 % ausmacht. (Vergl. den Abschnitt „Beleuchtung“ im Kapitel „Wohnung“.)

Nächst dem Baugrunde, auf welchem ein Haus errichtet wurde, sind es die Materialien, welche zu seiner Erbauung in Verwendung kamen, die zu gasförmiger Verunreinigung der Wohnungsluft Veranlassung geben können. Feuchte Mauern bedingen nicht nur nahezu völlige Sättigung der Wohnungsluft mit Wasserdampf, sondern sie geben an dieselbe auch riechende Stoffe ab, hervorgehend aus der durch ihre Feuchtigkeit bedingten oder ermöglichten Entwicklung niederer Organismen, von grösseren Algen ab bis zu den niedersten Pilzen, den Spaltpilzen, herunter. Die Natur dieser riechenden Stoffe ist nicht bekannt, dennoch sind sie für die Hygiene von Wichtigkeit, da sie allein unter Umständen für die widerliche Beschaffenheit einer Luft verantwortlich gemacht werden müssen. Sie spielen eine wichtige Rolle bei der von dem Füllmateriale der Zimmerböden ausgehenden Verunreinigung der Wohnungsluft, worüber neuestens von EMMERICH <sup>1)</sup> eingehende Studien gemacht wurden, und sind nach diesen Versuchen als die Producte von Fäulnissvorgängen zu betrachten, welche im Füllmateriale, resp. in dessen organischen Bestandtheilen vor sich gehen und neben Kohlensäure, welche quantitativ bestimmbar ist, auch jenes unbekannte Gemisch von riechenden Gasen liefern. Ebenso wie aus dem Füllmateriale der Böden können riechende Stoffe aus dem Anstriche der Wände sich entwickeln oder aus den Klebstoffen, mittelst deren Tapeten an der Wand befestigt werden. Besonders die Verwendung schlechten Leimes zur Fixirung mineralischer Farbstoffe, schlechten Oeles zur Fixirung von Oelfarben an Wänden, Thüren, Fenstern u. s. f. kann in einem Wohnraume einen Geruch der Luft verursachen, welcher denselben unbewohnbar macht.

Eine zweite Gruppe von Einwirkungen auf die Zusammensetzung der Luft geht vom Menschen selbst aus. Der menschliche Organismus steht mit der umgebenden Luft in beständigem Gasaustausche; er entzieht ihr Sauerstoff und gibt dafür Kohlensäure und Wasserdampf, als Producte der Oxydationsvorgänge, welche ununterbrochen in seinem Körper vor sich gehen, ab. Lunge und Hautorgan vermitteln die Ausscheidung, wozu sich noch in untergeordneter Menge Spuren von Ammoniak und Riechstoffe, letztere nur von der Haut abgegeben, gesellen, welche ausser Kohlensäure Grubengas, Wasserstoff und riechende Stoffe, manchmal auch Spuren von Schwefelwasserstoff, die Producte fermentativer Vorgänge im Darmkanale, enthalten. Der Schweiss des Men-

---

1) Zeitschr. für Biologie. 1882. Bd. 18. S. 251.

schen gibt Riechstoffe an die Luft ab, welche, je nach der Individualität und je nach der Körperstelle, von welcher Schweiß abgesondert wird, verschieden sind. Sein Gehalt an flüchtigen Fettsäuren (Ameisensäure, Essigsäure, Buttersäure, Propionsäure) in normalem Zustande, noch mehr aber die Zersetzung des auf der Haut oder in den Kleidern angetrockneten Schweißes, wobei auch Ammoniak, Baldriansäure, Capron- und Caprylsäure und andere specifische Riechstoffe auftreten, bilden unter Umständen eine ergiebige Quelle der Luftverunreinigung, welche allen Bemühungen, die Luft eines Wohnraumes rein, d. h. geruchlos, zu erhalten, spottet. Besondere Erwähnung verdient an dieser Stelle auch die Abgabe von Riechstoffen von der Haut in Krankheiten, sowohl bei inneren und allgemeinen Erkrankungen von der unveränderten Hautoberfläche, als auch von Wunden und Geschwüren auf derselben, besonders in dem Falle, dass deren Secrete in Zersetzung übergehen. Weitaus am häufigsten aber geben die menschlichen (oder auch thierischen) Excremente, Harn und Koth, Veranlassung für eine Verschlechterung der Luft. Schon bei ihrem Austritte aus dem Körper entweichen geruchlose und riechende Gase, die Producte fermentativer Vorgänge im Darmkanale, als welche Kohlensäure, Wasserstoff, Buttersäure, Essigsäure, Phenol, Indol und Scatol zu betrachten sind. Als bald nach der Entleerung aber treten andere Gährungserscheinungen in den Excrementen auf; bei genügendem Wassergehalt erfolgt rasch Fäulniss mit reichlicher Entwicklung von Gasen, in erster Linie Kohlensäure, dann Ammoniak, Schwefelwasserstoff und Kohlenwasserstoffe verschiedener Art, flüchtige Fettsäuren, Amine u. s. w. (Ueber deren Mengenverhältnisse finden sich Angaben im Capitel „Städtereinigung“ von ERISMANN.)

In die dritte Gruppe von Ursachen der Luftverunreinigung fallen alle jene, welche aus der Art und Weise der Benutzung eines geschlossenen Raumes durch den Bewohner und dessen Beschäftigungsweise hervorgehen. Um einen Raum bewohnbar zu machen, muss derselbe, wenigstens in den nördlich und südlich von der heissen Zone des Erdballes gelegenen Ländern, zeitweise beheizt werden. Die primitivste Vorrichtung hierzu, wie sie noch häufig bei Völkern, welche der Cultur noch ferne geblieben sind, aber auch stellenweise inmitten der höchstcultivirten Nationen angetroffen wird, ist die Errichtung eines Feuerplatzes an irgend einer Stelle des zu erwärmenden Raumes, auf welchem irgend welche Materialien zur Verbrennung gelangen, deren Verbrennungsproducte sich in solchem Falle mit der



Luft des Raumes mischen. Die Verbrennungsgase sind je nach der Art des Materiales und der Vollständigkeit des Luftzutrittes mehr oder weniger zusammengesetzt und bestehen der Hauptsache nach aus Kohlensäure und Wasserdampf; je unvollkommener die Verbrennung vor sich geht, um so mehr andere Gase findet man neben diesen Hauptproducten; vor allen anderen das durch seine Giftigkeit hervorragende Kohlenoxyd; ferner unverbrannte Kohlenwasserstoffe. Die Verbrennung von Steinkohlen gibt, wie oben erwähnt, infolge deren Schwefelgehaltes Veranlassung zur Bildung von schwefliger Säure und Schwefelsäure. Alle neueren Heizapparate, Kamine, Oefen, Centralheizungen u. s. w., streben die Fernhaltung der Rauchgase von den beheizten Räumen mit verschiedenem Erfolge an. Am besten kann dieses Ziel erreicht werden durch Oefen (und Centralheizungen), besonders wenn dieselben ausserhalb des zu erwärmenden Raumes beschickt werden können. Weitaus das Schlimmste aber ist die Aufstellung von Pfannen mit glühenden Kohlen in einem ganz geschlossenen Raume, aus welchem die Verbrennungsgase keinen besondern Abzugsweg finden können; der dabei sich entwickelnde Kohlendunst, ein Gemenge von Kohlensäure, Kohlenoxyd, Sauerstoff und Stickstoff, hat schon viele Opfer an Gesundheit und Leben gefordert, ebenso wie auch in dem anderen Falle des Verschlusses der Ofenklappen vor dem gänzlichen Erlöschen der Feuerung. Auch noch auf andere Weise als durch den Austritt der Feuergase aus den Feuerungsapparaten kann die Heizung der Wohnräume zur Verschlechterung der Luft derselben beitragen, nämlich durch die trockene Destillation der mit den heissen oder glühenden Theilen eines Heizapparates in Berührung kommenden organischen Stoffe der verschiedensten Art; es entstehen hierbei noch nicht näher untersuchte Destillationsproducte, welche für Gase angesehen werden müssen (Kohlenwasserstoffe?) und welche trotz ihrer geringen Menge deutlich wahrnehmbare Effecte hervorbringen vermögen. Dagegen kann nach den neuesten hygienischen Forschungen die Frage, ob aus den Feuerungsgasen Kohlenoxyd durch glühende gusseiserne Oefen hindurch in die umgebende Luft diffundiren könne, als bedeutungslos für die Hygiene erklärt werden, ebenso wie die Frage, ob es durch Dissociation der Kohlensäure der Luft bei Berührung mit glühendem Eisen zu Kohlenoxyd und Sauerstoff, oder durch trockene Destillation des Luftstaubes bei der gleichen Gelegenheit entstehen könne, nachdem sich herausgestellt hat, dass, obwohl alle 3 Fälle von theoretischem Standpunkte aus als möglich angesehen werden müssen, die practischen Fälle doch derart liegen,



dass niemals Kohlenoxyd in einer die Hygiene auch nur entfernt interessirenden Menge in der Luft von Wohnräumen vorkommen kann. Nächst der Beheizung ist die künstliche Beleuchtung der Wohnräume eine ergiebige Quelle der Luftverunreinigung durch Gase, indem bei der Verbrennung der Leuchtstoffe deren gasförmige Producte sich der Luft des Raumes beimischen müssen, da für einen Abzug derselben nach der freien Atmosphäre nur in den allerseltensten Fällen Sorge getragen wird. Vor Allem sind es Kohlensäure und Wasserdampf, welche bei allen Beleuchtungsarten (ausgenommen die electriche mittelst Glühlichter) entstehen; an sie schliessen sich an die Kohlewasserstoffe, deren Menge je nach der Verschiedenheit der Materialien sehr bedeutend differirt; aus schlecht gereinigtem Leuchtgase, welches noch einen Gehalt von Schwefelwasserstoff besitzt, bildet sich bei der Verbrennung schweflige Säure; beim Auslöschten von Kerzen und Lampen entweichen meist höchst übelriechende Gasgemenge, bestehend aus den verschiedensten Producten trockener Destillation, hauptsächlich Acrolein, flüchtige Fettsäuren, Kohlewasserstoffe u. s. w.; auch bilden sich solche im Falle ungünstiger Luftzufuhr zu den Verbrennungsapparaten. Schon die Materialien mancher Brennstoffe an und für sich können durch Abgabe von Gasen und Riechstoffen erhebliche Luftverunreinigung verursachen, so Talg und Brennöl durch Abgabe von flüchtigen Fettsäuren, Petroleum durch Entwicklung von flüchtigen Kohlewasserstoffen, Butylwasserstoff, Amylwasserstoff, Petroleumäther u. s. w., und endlich das Leuchtgas, ein Gemisch verschiedener weiter oben schon erwähnter Gasarten, durch das Entweichen aus den Leitungen. (Vergl. künstliche Beleuchtung im Abschnitte „Wohnung“ dieses Handbuches.) Durch die Zubereitung der Nahrungsmittel zu Speisen, Kochen, Braten, Backen, wird häufig die Luft des Raumes, in welchem dies geschieht, mit Riechstoffen der verschiedensten Art erfüllt, von denen viele als Genussmittel eine Rolle spielen; besonders sind hierbei die Gewürze und die durch die Einwirkung hoher Temperatur entstehenden Röstopproducte animalischer Nahrungsmittel (Fettsäuren u. s. w.) betheiligt. An dieser Stelle möge auch die aus der Consumption des Tabaks hervorgehende Luftverunreinigung Erwähnung finden. Der Tabakrauch enthält ausser festen Bestandtheilen eine grosse Menge von Destillationsproducten in Gasform, Kohlensäure, Kohlenoxyd, Schwefelwasserstoff, Ammon, Phenol, Kreosot, Ameisen-, Essig-, Propion-, Butter-, Valerian-Säure, benzolartige Kohlewasserstoffe, Picolinbasen, Blau-

säure, Nicotin u. s. w. Endlich werden bei verschiedenen Gewerbebetrieben Gase entwickelt, welche von hervorragender Bedeutung für die menschliche Gesundheit werden können, wenn sie zur Einathmung gelangen. Die wichtigsten derselben sind die irrespirablen Gase: schweflige Säure, Schwefelsäure, Untersalpetersäure, Salzsäure, Ammoniak, Chlor, die giftigen Gase: Kohlensäure, Kohlenoxyd, Schwefelwasserstoff, Schwefelkohlenstoff, Arsenwasserstoff, Phosphorwasserstoff, ferner Jod und Brom, Terpentin-dampf, Oeldunst, Theer und Petroleumdämpfe u. s. w. (Vergl. hierüber HIRT: „Die Gasinhalationskrankheiten.“ Dieses Handbuch II. 4.)

## II. Physikalische Eigenschaften der Luft.

### 1. Die Wärme.

Die verschiedenen Temperaturen, welche auf der Erde zur Einwirkung auf den menschlichen Organismus gelangen, stammen aus drei verschiedenen Wärmequellen, unter welchen die Sonnenwärme bezüglich ihrer Ergiebigkeit obenan steht, während die Eigenwärme der Erde und die durch Verbrennung auf der Erde erzeugte Wärme zwar der Menge nach zurückstehen, aber andererseits wegen ihrer Nähe eine erhöhte Bedeutung für die Hygiene erlangen. Uebrigens stammen auch diese beiden von der Sonne, insofern als einerseits die Eigenwärme der Erde nur aus einem früheren glühenden Zustande derselben, in welchem sie von der noch jetzt in Glühhitze befindlichen Sonne abgelöst wurde, erklärt werden kann, während andererseits die durch Verbrennung von organischen Stoffen erzeugte Wärme nach den neuesten Forschungen über die Erhaltung der Energie nur als Sonnenwärme zu betrachten ist, welche in den Organismen für kürzere oder längere Zeit latent geworden war und nach deren Tode durch Oxydation wieder frei wird. Alle Wärme strahlt, sofern sie nicht in eine andere Form der Energie umgewandelt wird, nach dem kalten Weltenraume hin ab, welchem die Bedeutung eines Regulators der Wärmeverhältnisse der Erde zuzuschreiben ist. Einstrahlung und Ausstrahlung der Wärme verhalten sich gegenwärtig ziemlich gleich, wenigstens liegen keine bestimmten Thatsachen vor, dass in historischer Zeit die Temperatur auf der Erde eine erheblich geringere geworden wäre <sup>1)</sup>, wenngleich in

1) POLLUGE, Klimaänderungen in historischer Zeit. In VIRCHOW-HOLTZEN-DORF's Sammlung gemeinverständlicher wissenschaftlicher Vorträge. Heft 359.

früherer Zeit die Ausstrahlung viel bedeutender gewesen sein muss als die Einstrahlung, um den gegenwärtig bestehenden Zustand der Erde herbeizuführen. Nach Berechnungen von FOURIER <sup>1)</sup> soll die Abnahme der Temperatur der Erde seit 2000 Jahren nicht einmal  $\frac{1}{288}$  Grad betragen, eine Thatsache, welche die Erörterung dieser Frage für die Hygiene überflüssig erscheinen lässt.

Die Temperatur des Himmelsraumes, nach welchem hin die Erde ihre Wärme durch Strahlung und Leitung verliert, wird verschieden hoch angegeben. POUILLET <sup>2)</sup> berechnete dieselbe zu  $-142^{\circ}$  C.

Die Erde erhält von der gesammten von der Sonne ausgestrahlten Wärmemenge nur den zweitausendeinhundertsiebzigmillionsten Theil, und diese Menge ist so gross, dass die im Jahre auf 1 Qemt. der Erdoberfläche fallende Wärmemenge im Stande wäre, 232 Kgrm. Wasser um  $1^{\circ}$  C. zu erwärmen oder eine die Erde in der Höhe von 30,9 Mt. bedeckende Eisschicht zu schmelzen (POUILLET). <sup>3)</sup>

Diese Wärmemenge gelangt jedoch nicht vollständig auf der Erdoberfläche an, indem ein Theil derselben auf dem Wege durch die Atmosphäre hindurch von dieser selbst absorbiert wird; diese Menge beträgt ungefähr  $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{6}$  der ganzen von der Sonne der Erde zugesandten Wärme. Aeltere Versuche von POUILLET <sup>4)</sup> ergaben bei heiterem Himmel und senkrechter Bestrahlung für Paris eine Absorption von 21—27 %, solche von QUETELET in Brüssel <sup>5)</sup> 33 % und solche von ALTHAUS <sup>6)</sup> 20 %.

Es treten jedoch die verschiedensten Factoren auf, welche eine Aenderung dieses Verhältnisses bewirken. So die Dicke der Atmosphäre, welche z. B. bei Schiefstand der Sonne für einen Ort viel bedeutender ist, als bei Verticalstand, die Feuchtigkeit der Luft, die Anwesenheit staubförmiger Substanzen, von Wolken u. s. w. Besonders glaubte man bis in die neueste Zeit aus den Versuchen TYNDALL'S <sup>7)</sup> über die Diathermanität trockener und feuchter Luft dem Wasserdampfe einen sehr bedeutenden Einfluss auf die Wärmeabsorption in der Atmosphäre zuschreiben zu müssen, da aus ihnen hervorging, dass der Wassergehalt der Luft verschiedener englischer

1) Annales de Chimie et de Physique. Ser. 2. Bd. 13.

2) WÜLLNER, Lehrbuch der Experimentalphysik. Bd. III. S. 261. 2. Aufl.

3) Ibidem.

4) POGGENDORF'S Annalen. Bd. 45. S. 29.

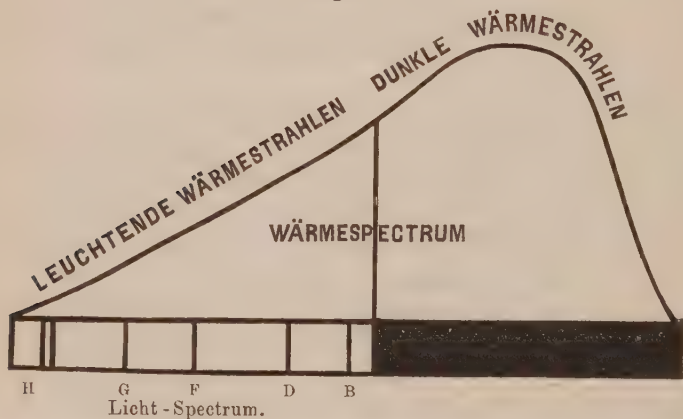
5) Annuaire météorologique de la France pour 1850. p. 158.

6) POGGENDORF'S Annalen. Bd. 90. S. 549.

7) TYNDALL, Die Wärme eine Art der Bewegung. Deutsch von HELMHOLTZ und WIEDEMANN. S. 437 u. ff.

Orte 70 mal mehr Wärme zu absorbiren vermochte, als die trockene Luft; allein diese colossalen Differenzen stellten sich später als Folgen eines eigenthümlichen Verhaltens des Wasserdampfes zu den Röhrenwänden heraus, und schliesslich führte MAGNUS <sup>1)</sup> den Einfluss des Wasserdampfes auf ein bescheidenes Maass zurück; feuchte Luft absorbirt wenig mehr Wärme als trockene. Von grösserem Einflusse dagegen ist die Dicke der zu passirenden Schicht, wofür die Versuche von VIOLE <sup>2)</sup>, welche gleichzeitig in verschiedenen Entfernungen vom Erdboden angestellt wurden, zum Belege dienen können. Dieselben ergaben auf dem Gipfel des Montblanc (4810 Mt.) eine Absorption von 6 %; in der Höhe von 3050 Mt. (Grands-Mulets) 11 %; bei 1200 Mt. (Bosson-Gletscher) 21 % und bei 213 Mt. (Grenoble) 29 %.

Die von der Sonne ausgehenden Wärmestrahlen besitzen verschiedene Brechbarkeit; ein alle Wärme durchlassendes Prisma (Steinsalz) zerlegt sie ebenso wie das Licht und erzeugt ein Wärmespectrum, dessen Verhalten zum Lichtspectrum aus Fig. 8 ersichtlich ist; zur besseren Orientirung sind in das Lichtspectrum einige

Fig. 8.<sup>3)</sup>

FRAUNHOFER'sche Linien eingezeichnet. <sup>4)</sup> Es geht daraus hervor, dass ein Theil der durchgegangenen Wärmestrahlen gleiche Brechbarkeit besitzt mit den Lichtstrahlen, diese werden als leuchtende

1) POGGENDORF's Annalen. Bd. 130.

2) HANN, HOCHSTETTER und POKOMY, Allgem. Erdkunde. Prag 1881. S. 70.

3) MÜLLER, Lehrbuch der Physik.-Met. 8. Aufl. Bd. 2. Abth. 2. S. 562.

4) Nach MÜLLER POGGENDORF's Annalen. Bd. 105.



Wärmestrahlen bezeichnet; der grössere Theil des Wärmespectrums liegt jedoch ausserhalb des Lichtspectrums, und besteht, da es ausserhalb der rothen Lichtstrahlen liegt, aus weniger brechbaren Strahlen, den dunklen Wärmestrahlen. Gelangen nun die Sonnenstrahlen auf der Erdoberfläche an, so werden sie zum Theile reflectirt, zum Theile aber auch von festen oder flüssigen Körpern absorbirt, wodurch diese alsdann eine Temperaturerhöhung erfahren. Diese Erwärmung bleibt jedoch nicht bestehen, sondern wird wiederum durch Leitung an die Luft und hauptsächlich durch Strahlung aufgehoben, da der erwärmten Stelle nicht nur die Sonne, sondern auch der kalte Weltraum gegenübersteht. Bei dieser Ausstrahlung nun handelt es sich nicht mehr um leuchtende Wärmestrahlen, sondern nur um dunkle und für diese ist die Luft viel undurchgängiger als für erstere, sie erwärmt sich daher auf Kosten nicht nur der von der Sonne nach der Erde ausgestrahlten, sondern auch der von der Erde nach dem kalten Weltraume zurückgestrahlten Wärme. Die Temperatur der Luft ist sogar wesentlich abhängig von der Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonne und der Rückstrahlung von Wärme nach dem kalten Weltraume. Die grosse Kälte der Luft an den beiden Polen ist die Folge der geringen Erwärmung des Erdbodens daselbst durch die Sonne und der bedeutenden Ausstrahlung nach dem Weltraume; die hohe Temperatur der Luft am Aequator resultirt aus der intensiven Erwärmung der Erdoberfläche durch die vertical auffallenden Sonnenstrahlen; ebenso ist die Steigerung der Temperatur der Luft während des Tages auf die Erwärmung des Bodens und die Abkühlung der Luft während der Nacht auf den Wärmeverlust des Bodens zu gleicher Zeit zurückzuführen. Dass es hauptsächlich die Erwärmung der Erdoberfläche ist, welche die Temperatur der Luft bedingt, beweist überdies die Verschiedenheit der Lufttemperatur an Orten, welche unter gleichen Breitegraden gelegen sind; sie alle erhalten im Jahre die gleiche Wärmemenge von der Sonne zugesandt, die Wärmeabsorption durch die Luft ist für alle gleich gross und doch verhalten sie sich bezüglich ihrer mittleren Lufttemperatur und bezüglich der Schwankungen, welche die Temperatur im Laufe eines Jahres erfährt, sehr verschieden, je nachdem sie auf einer Insel im Meere, oder an der Küste eines Continents, oder im Innern eines solchen liegen; diese Differenz rührt davon her, dass Wasser und Land verschiedene spezifische Wärme besitzen, d. h. sich bei gleicher Wärmezufuhr ungleich erwärmen. Nimmt man die spezifische Wärme des Wassers zu 1,0 an, so ist die spezifische Wärme eines gleichen Volums.

## TABELLE XXIV.

## Specifische Wärme verschiedener Gesteine.

Kalk	.	.	{	Kalkspath	.	.	.	.	=	0,556
				Bitterkalk	.	.	.	.	=	0,635
Quarz	.	.	.	Bergkrystall	.	.	.	.	=	0,503
				Adular	.	.	.	.	=	0,476
Feldspath	.	.	{	Albit	.	.	.	.	=	0,512
				Labrador	.	.	.	.	=	0,530
Pyroxen	.	.	{	Diopsid	.	.	.	.	=	0,625
				Basalt, Angit	.	.	.	.	=	0,659
Hornblende	.	.	{	Tremolit	.	.	.	.	=	0,641
				Strahlstein	.	.	.	.	=	0,655
				Eisenglanz	.	.	.	.	=	0,889
				Gyps	.	.	.	.	=	0,630. <sup>1)</sup>

Wasser erwärmt sich bei gleicher Wärmezufuhr viel langsamer und gibt die erhaltene Wärme auch wieder langsamer ab, da es viel mehr davon absorbiren kann, als das Land; (übrigens werden diese grossen Unterschiede noch durch das Vorhandensein von Vegetation und Wasser etwas modificirt; vergl. den Abschnitt „Boden“). Da nun auf gleichem Breitengrade am Meeresufer gelegene Orte weniger heisse Sommer und mildere Winter haben als im Innern grosser Continente gelegene, und da auch die im Laufe des Tages in der Lufttemperatur sich ergebenden Extreme an ersteren Orten viel geringer sind als an letzteren, so kann, da bei gleichen Einstrahlungsverhältnissen die Absorption der Wärme durch die Luft die gleiche sein muss, der Unterschied nur auf die verschiedene Erwärmung des Landes im Vergleiche mit dem Meere zurückgeführt werden.

Betrachtet man die Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche, soweit sie in der Temperatur der unteren Luftschichten, in welchen sich alles organische Leben abspielt, zum Ausdrucke kommt, so ergeben sich sehr bedeutende Verschiedenheiten.

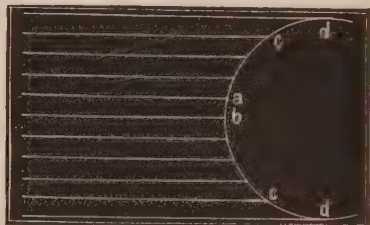
In erster Linie ist die Kugelgestalt der Erde hierfür maassgebend. Die von der Sonne kommenden Strahlen, wenigstens das ganze Bündel, welches die Erde trifft, können als vollkommen parallel angesehen werden; würden dieselben auf eine ebene Fläche auftreffen, so würden alle Theile derselben gleich intensiv beleuchtet und erwärmt werden, da sie aber auf eine Halbkugel auffallen, so werden, wie umstehende Fig. 9 zeigt, von gleichen Strahlenbündeln ungleichgrosse Flächen beleuchtet und erwärmt und zwar kleinere Flächen an der der Sonne zugekehrten Wölbung, bei a b, grössere

1) SCHMID, Lehrbuch der Meteorologie. S. 52.

an der Peripherie, *cd*; in der That ist dieser Umstand auch die Ursache der Abnahme der Temperatur vom Aequator nach den Polen hin, und andererseits für die regelmässige Ab- und Zunahme der Temperatur im Laufe des Tages.

Dieses Verhältniss wird nun durch die Stellung der Erdaxe zur Erdbahn etwas modificirt. Würde die Erdaxe senkrecht auf der Erdbahn stehen, so würde dementsprechend die Erdoberfläche am Aequator am intensivsten erwärmt werden, die an den Polen gelegenen Länder am wenigsten, und es würde auf der ganzen Erde ein Tag dem anderen gleichen; nun bildet aber die Erdaxe mit der Ebene der Erdbahn einen Winkel von  $66^{\circ} 32'$ , und behält diese

Fig. 9.



Stellung auch bei dem Umlaufe der Erde um die Sonne in der Weise bei, dass sie immer parallel mit sich selbst fortrückt; die Folge davon ist, dass im Laufe eines Jahres jeder Pol einmal der Sonne zugeneigt und einmal weggewendet wird, und dass am Aequator die Sonne nicht beständig im Zenith steht (zur Mittagszeit), sondern dass auch Breitengrade nördlich und südlich des Aequators an dieser Stellung der Sonne participiren. Vergl. Fig. 10, welche die Stellung der Erde zur Sonne in 4 verschiedenen Phasen zeigt.

 Fig. 10.<sup>1)</sup>

Auf diese Weise ist eine günstigere Vertheilung der Wärme auf der Erde gegeben, als bei Verticalstand der Erdaxe möglich wäre, und werden dadurch noch Länder in der Nähe der Pole bewohnbar, in welchen im letzteren Falle kein Leben möglich wäre.

Die verschiedenen Stellungen der Erde zur Sonne, welche durch die Neigung der Erdaxe bedingt sind, gaben Veranlassung zur Bildung verschiedener Zonen und zur Theilung des Jahres in Jahreszeiten. Man unterscheidet eine heisse, zwei gemässigte und

1) Aus MÜLLER, Kosmische Physik. S. 106.

zwei kalte Zonen. Die heisse Zone liegt zu beiden Seiten des Aequators und umschliesst zwischen den beiden Wendekreisen des Widlers und Steinbocks alle Breitgrade, über welchen die Sonne zeitweise senkrecht zu stehen kommt. An allen in der Nähe des Aequators gelegenen Orten tritt die Sonne während eines Jahres zweimal in den Zenith; sie haben daher zweimal im Jahre eine heisse und zweimal eine kalte Jahreszeit; erstere im März und September, letztere im Juni und December. Weiter nach den Wendekreisen hin rücken die beiden heissen Jahreszeiten immer mehr zusammen, bis sie in der Breite der Wendekreise selbst zu einer einzigen zusammenfliessen; dementsprechend gibt es von den Wendekreisen an, sowohl nördlich als südlich, im Jahre nur eine warme und eine kalte Jahreszeit. An die heisse Zone schliesst sich zu beiden Seiten eine gemässigte Zone an, und zwar eine nördliche und eine südliche, deren Begrenzung einerseits von den Wendekreisen, andererseits von den beiden Polarkreisen gebildet wird. Jenseits der Polarkreise in der kalten Zone kommt die Sonne Tage, Wochen, Monate lang nicht über dem Horizont zum Vorschein, und wenn sie aufgeht, fallen ihre Strahlen nur unter so spitzem Winkel auf, dass die Erwärmung der Erde und folglich auch der Luft nur eine ganz geringe sein kann.

Für die Verschiedenheit der Temperaturvertheilung vom Aequator nach den Polen hin ist einerseits die Bogenhöhe, bis zu welcher die Sonne in der Mittagszeit sich erhebt, und zweitens die Länge des Tages von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang entscheidend. Am Aequator erreicht die Sonne zweimal im Jahre eine Höhe von  $90^{\circ}$ ; der tiefste Stand, den sie erreicht, ist  $66^{\circ} 32'$ . Auf den Wendekreisen ist der höchste Stand  $90^{\circ}$ , der niedrigste  $43,4^{\circ}$ . In der gemässigten Zone tritt die Sonne niemals in den Zenith; an der polaren Begrenzung derselben, an den Polarkreisen, erreicht sie ihren höchsten Stand mit  $46^{\circ} 56'$ , während der tiefste  $0^{\circ}$  beträgt; in der kalten Zone endlich wird nicht einmal der Stand von  $46^{\circ} 56'$  erreicht und bleibt die Sonne zeitweise für Tage und Wochen unter dem Horizont.

Aus diesen eben angegebenen Zahlen berechnet sich durch Interpolation folgende Tabelle (S. 71) der Sonnenhöhen für verschiedene Breitgrade der nördlich gemässigten Zone.

Die verschiedene Höhe der Sonne, bis zu welcher sie sich über den Horizont erhebt, bedingt nun ihrerseits die verschiedene Länge der Tage. Wenn die Sonne senkrecht über dem Aequator steht, sind auf der ganzen Erde Tag und Nacht gleich lang (Aequinoctien);



es findet dies zweimal im Jahre statt, am 21. März und 21. September. Vom 21. März an wendet sich die Sonne mehr der nördlichen Halbkugel der Erde zu, die Tage werden hier länger, die Nächte kürzer, während auf der südlichen Hälfte der Erde das umgekehrte Verhältniss beobachtet wird. Am 22. Juni nimmt die Sonne für die nörd-

TABELLE XXV.

## Sonnenhöhen in der gemässigten Zone.

Breitegrad	Sonnenhöhe	
	höchste	niedrigste
Wendekreis des Krebses = 23° 28'	90° 0'	43° 4'
25°	88° 28'	41° 32'
30°	83° 28'	36° 32'
35°	78° 28'	31° 32'
40°	73° 28'	26° 32'
45°	68° 28'	21° 32'
50°	65° 28'	16° 32'
55°	58° 28'	11° 32'
60°	53° 28'	6° 32'
65°	48° 28'	1° 32'
Nördlicher Polarkreis = 66° 32'	46° 56'	0° 0'

liche Halbkugel ihren höchsten Stand ein und erhalten damit die Tage ihre grösste Länge (auf der südlichen Halbkugel die Nächte); von diesem Punkte, dem Sommersolstitium, an nehmen die Tage an Länge ab, die Nächte zu, bis sie am 21. September wiederum gleich lang sind; von nun an überwiegt die Dauer der Nacht über die des Tages bis zum 22. December, dem Tage des Wintersolstitiums, an welchem die nördliche Halbkugel den kürzesten Tag, die südliche den längsten Tag hat.

Die Dauer des längsten und ebenso des kürzesten Tages hängt von der geographischen Breite eines Ortes ab; am Aequator besteht kein Unterschied zwischen längstem und kürzestem Tag, je weiter jedoch ein Ort vom Aequator entfernt ist, um so länger wird sein längster Tag, um so kürzer sein kürzester, bis am Polarkreise der längste Tag 24 Stunden dauert, d. h. die Sonne einige Tage gar nicht untergeht, während andererseits ein halbes Jahr später die Sonne einige Zeit gar nicht erscheint, folglich der kürzeste Tag auf 0 zusammenschmilzt. Ueber diese Verhältnisse orientiren am besten folgende Tabellen <sup>1)</sup>, deren erste für die heisse und nördliche ge-

1) Beide Tabellen aus MÜLLER, Kosmische Physik. S. 113.

mässigte Zone die Dauer des längsten und kürzesten Tages enthält, während die zweite für die nördliche kalte Zone jene Perioden an-

TABELLE XXVI.

Breite	Dauer des längsten Tages	Dauer des kürzesten Tages	Breite	Dauer des längsten Tages	Dauer des kürzesten Tages
Aequator	12 St. 0 Min.	12 St. 0 Min.	40°	14 St. 51 Min.	9 St. 9 Min.
5°	12 = 17 =	11 = 43 =	45°	15 = 26 =	8 = 34 =
10°	12 = 35 =	11 = 25 =	50°	16 = 9 =	7 = 51 =
15°	12 = 53 =	11 = 7 =	55°	17 = 7 =	6 = 53 =
20°	13 = 13 =	10 = 47 =	60°	18 = 30 =	5 = 30 =
25°	13 = 34 =	10 = 26 =	65°	21 = 9 =	2 = 51 =
30°	13 = 56 =	10 = 4 =	Polarkreis		
35°	14 = 26 =	9 = 38 =	= 66° 32'	24 = 0 =	0 = 0 =

gibt, während welcher die Sonne überhaupt nicht aufgeht oder nicht untergeht. An den Polen selbst gibt es überhaupt im Jahre nur

TABELLE XXVII.

Breite	Die Sonne geht nicht unter in ca.	Die Sonne geht nicht auf in ca.
66° 32'	1 Tag	1 Tag
70°	65 Tagen	60 Tagen
75°	103 =	97 =
80°	134 =	127 =
85°	161 =	153 =
90° = Nordpol	186 =	179 =

einen Tag und eine Nacht, beide gleich lang, da hier die Sonne während eines halben Jahres nicht untergeht, dafür aber ein halbes Jahr nicht mehr erscheint.

Ueber die Abnahme der Temperatur im Allgemeinen vom Aequator nach den Polen hin gibt folgende von DOVE entworfene Tabelle XXVIII, in welcher aus einer grossen Anzahl von mittleren Temperaturen für Orte auf gleichem Parallel je eine Mitteltemperatur des Jahres, und überdies auch noch des kältesten und wärmsten Monats berechnet wurde, ein anschauliches Bild. Hiernach beträgt die Temperaturdifferenz zwischen Nordpol und Aequator im Durchschnitt 43 Grade, zur kältesten Zeit sogar 58,4°, im Sommer dagegen nur 28,1°. In der fünften Columnne wurden ferner die Differenzen

der Temperaturen des wärmsten und kältesten Monats für jeden Parallelkreis eingetragen und geht aus dieser Rubrik die Thatsache her-

TABELLE XXVIII.<sup>1)</sup>

**Abnahme der Temperatur vom Aequator nach dem Nordpol hin.**

Nördliche Breite	Mittlere Temperatur			Differenz zwischen wärmstem und kältestem Monat
	Jahr	Kältester Monat	Wärmster Monat	
0°	+ 26,5°	Juli 25,9°	April 27,4°	1,5° Celsius
10°	+ 26,6°	Januar 25,1°	Juli 27,1°	2,0° =
20°	+ 25,2°	= 21,1°	= 27,6°	6,5° =
30°	+ 21,0°	= 14,8°	= 25,8°	11,0° =
40°	+ 13,6°	= 4,6°	= 22,4°	17,8° =
50°	+ 5,8°	= — 6,8°	= 17,0°	23,8° =
60°	— 1,2°	= — 15,8°	= 13,5°	29,3° =
70°	— 8,9°	= — 24,4°	= 7,3°	31,7° =
80°	— 14,0°	= — 29,1°	= 1,1°	30,2° =
90°	— 16,5°	= — 32,5°	= — 0,7°	31,8° =

vor, dass die Temperatur der Luft ausgedrückt in Monatsmitteln am Aequator viel geringere Schwankungen macht, als in der nördlichen gemässigten oder kalten Zone; je weiter man sich nach Norden bewegt, um so grösser wird im Allgemeinen der Unterschied zwischen Sommer und Winter. Es geht dies auch recht deutlich hervor, wenn man den jährlichen Gang der Temperatur unter dem 20°, 50° und 90° nördlicher Breite nach DOVE mit einander vergleicht, wie in

TABELLE XXIX.

**Jährlicher Gang der Temperatur in verschiedenen Breiten.**

Breite	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
20°	21,1	22,6	24,0	26,1	27,0	27,3	27,6	27,6	27,0	26,1	24,6	22,7
50°	— 6,8	— 5,4	— 1,6	5,5	10,6	14,9	17,0	16,4	12,3	6,4	0,0	— 4,7
90°	— 32,5	— 29,5	— 26,2	— 17,2	— 9,4	— 2,5	— 0,7	— 2,5	— 7,5	— 17,7	— 24,0	— 27,7

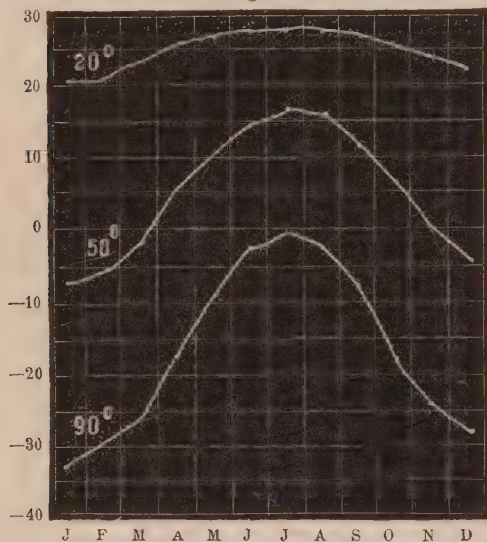
obiger Tabelle XXIX, deren Zahlen in Fig. 11 (S. 74) graphisch dargestellt wurden, geschehen ist.

1) Nach DOVE, Die Verbreitung der Wärme auf der Oberfläche der Erde. Berlin 1852. Vergl. SCHMID, Meteorologie. S. 403. Die Differenz der Extreme wurde eigens berechnet.

Der Grund für diese letztere Erscheinung ist in der Vertheilung der Jahreszeiten zu suchen. Am Aequator, wo die Sonne während des ganzen Jahres im Zenith oder nicht weit davon entfernt steht, und alle Tage gleich lang sind, kann ein bedeutender Wechsel in den Jahreszeiten nicht zur Erscheinung kommen, da jeder Tag an Wärme wieder ersetzt, was während der Nacht verloren gegangen ist. An den Polen dagegen, wo das Jahr sozusagen in nur 1 Tag

Grade Cels.

Fig. 11.



und 1 Nacht zerfällt, wird der Effect der Einstrahlung während eines vollen halben Jahres angesammelt, daher sehr hoch; demselben steht aber das andere halbe Jahr mit beständiger Ausstrahlung entgegen; infolge dessen muss die Differenz zwischen warmer und kalter Jahreszeit sehr bedeutend werden. Innerhalb der gemässigten Zone ist diese Differenz um so grösser und sind die Jahreszeiten um so ausgeprägter, je weiter man sich nach Norden begibt, und je grösser die Differenz zwischen

längstem und kürzestem Tag an einem Orte ist.

Die Kugelgestalt der Erde ist nun nicht allein maassgebend für die Temperaturverhältnisse an ihrer Oberfläche; es finden erhebliche Abweichungen von dem eben geschilderten Verhalten statt, wie ein Blick auf eine Isothermenkarte sofort erkennen lässt (s. die beigeheftete Tafel). In Fig. 12 ist ein Netz von Linien aufgetragen, deren jede einzelne alle Orte von gleicher Jahrestemperatur verbindet; jede Linie entspricht daher einem anderen Temperaturgrade, und beträgt der Unterschied zwischen den einzelnen Linien je 5° Celsius. Ebenso wie für das ganze Jahr lassen sich auch für die einzelnen Monate Isothermenkarten construiren, von denen namentlich zwei, die des heissesten (für die nördliche Halbkugel gemässigte Zone) und die des kältesten Monats, besonderes Interesse besitzen. Die Isothermen des Juli, als des heissesten Monats, werden als Isothermen bezeichnet, die des Januar, als kältesten, als Isochimenen. Fig. 13



und Fig. 14 (s. die beigeheftete Tafel) zeigen die Vertheilung der Wärme in diesen beiden Monaten nach DOVE und BUCHAN.<sup>1)</sup>

Die Betrachtung der Isothermen ergibt zunächst die Bestätigung der Thatsache, dass die Temperatur des Jahres und auch der einzelnen Monate im grossen Ganzen vom Aequator nach den Polen hin abnimmt. Jedoch fallen die Isothermen durchaus nicht mit den Breitengraden zusammen, sondern machen bedeutende Ausbiegungen nach Norden oder Süden oder verlaufen gar nicht über den ganzen Erdball, sondern kehren in sich selbst zurück (vergl. Afrika). Die Hauptursache für diese Unregelmässigkeit ist der Unterschied im Verhalten von Wasser und Land, wie er schon oben (S. 68) Erwähnung gefunden hat. Auf der südlichen Halbkugel beträgt das Festland nur  $\frac{1}{17}$  der Oberfläche; hier ist der Verlauf der Isothermen während des ganzen Jahres viel regelmässiger, als auf der nördlichen Halbkugel, woselbst Land und See im Verhältniss von 2:3 stehen. Wasser erwärmt sich langsamer, als das Land, daher ist im Juli auf der nördlichen Halbkugel in gleicher Breite die Temperatur der grossen Continente eine viel höhere, als auf dem Meere (vergl. die Isothernenkarte). Beispielsweise beträgt die Julitemperatur unter dem  $30^\circ$  nördlicher Breite im stillen Ocean  $20 - 25^\circ$  C., im atlantischen Ocean  $22\frac{1}{2} - 25^\circ$  C. Im Innern der Continente dagegen trifft man in gleicher Breite auf die Isothernen von  $30^\circ$  und  $35^\circ$  C. Die Isothernen rücken auf der nördlichen Halbkugel über den Continenten nach Norden, über den grossen Meeren nach Süden.

Umgekehrt verlaufen die Isochimenen. Da das Wasser seine Temperatur länger behält, als das Land, so sinkt über den Continenten die Temperatur tiefer als über den Meeren. Im Winter biegen die Isothermen über den Continenten nach Süden, über den Meeren nach Norden aus. Während man unter  $30^\circ$  nördlicher Breite im stillen Ocean  $15^\circ$  C. und im atlantischen  $18^\circ$  C. begegnet, sinkt die Temperatur des Januar in Nordamerika auf  $10^\circ$  C. und in Ostasien bis auf  $2\frac{1}{2}^\circ$  C. herunter. Das Gleiche, nur nicht innerhalb so weiter Grenzen, beobachtet man auch auf der südlichen Halbkugel, nur ist zu bemerken, dass hier Winter herrscht, wenn auf der nördlichen Hemisphäre Sommer ist und umgekehrt.

Einen bedeutenden Einfluss auf die Ausbiegungen der Isothermen äussern ferner die Meeresströmungen. An den Ostküsten der grossen Continente Amerika und Asien entstehen in der heissen Zone unter der Einwirkung der intensiven Insolation Strömungen heissen

1) Transactions of the Royal Society of Edinburgh. Bd. 125.

Wassers, welche nach den Polen hin abfliessen und dadurch grosse Quantitäten Wärme nach nördlich gelegenen Ländern hin transportiren. Der wichtigste derselben ist der Golfstrom, welcher im Meerbusen von Mexico entsteht, dann einige Zeit die Ostküste von Nordamerika entlang fliesst, worauf er sich nach Osten wendend über den Azoren sich in zwei Arme theilt, von denen einer an der Westküste von Grönland, der andere an der Nordwestküste von Europa vorüberfliesst. Bei seinem Austritt aus dem mexicanischen Golf hat sein Wasser eine Temperatur von  $30^{\circ}$  C.; bei Neufundland sind seine Gewässer noch  $10 - 15^{\circ}$  C. wärmer, als das stromfreie umgebende Wasser. Ein zweiter Strom ist der Kurosiwo (der dunkle Strom), welcher an der Ostküste von China und Japan entsteht, sich aber bald in viele Arme theilt, welche in nordöstlicher Richtung divergiren; einer von ihnen biegt an der Westküste von Nordamerika nach Süden um und verliert sich gegen den Aequator hin. Endlich entsteht ein warmer Strom an der Ostküste von Südamerika, dessen Wasser dieser Küste entlang nach Süden abfliessen, und ein ähnlicher an der Ostküste von Afrika, ebenfalls mit südlicher Richtung.

Der Effect dieser warmen Ströme kommt hauptsächlich im Winter zur Geltung und drückt sich daher für die nördliche Halbkugel in der Isochimenenkarte durch die nordöstliche Richtung der Isothermen über den beiden grossen Meeren an der Ostküste von Asien und Nordamerika aus, für die südliche Halbkugel auf der Isothermenkarte durch die südliche Ausbiegung der Isothermen an der Ostküste von Afrika und Amerika.

Zum Ersatz der Wassermassen, welche durch die warmen Meeresströme aus den Tropen weggeführt werden, kommen aus den Polargegenden kalte Meeresströme, welche besonders deutlich auf der südlichen Halbkugel an den Westküsten von Afrika und Südamerika sich geltend machen und dort im Sommer und Winter eine Umbiegung der Isothermen nach dem Aequator hin, mit anderen Worten eine Herabsetzung der Temperatur daselbst erzeugen.

Die Meeresströmungen haben nicht nur Bedeutung für die Temperatur der Luft über dem Meere, sondern auch für die Luft über den Inseln und den Küstenländern der grossen Continente; es zeigt sich dies am deutlichsten an der Nordwestküste und Nordküste von Europa und Asien. Verfolgt man auf der Karte der Januarisothermen (Fig. 14) z. B. den Polarkreis und den 50. Grad nördlicher Breite vom 180. Meridian über die ganze nördliche Halbkugel, so trifft man unter den verschiedenen Meridianen die Januartemperaturen der folgenden Tabelle (XXX), deren Zahlen in Fig. 15 (S. 77)

in der Weise graphisch aufgezeichnet wurden, dass die Temperaturen als Ordinaten erscheinen; die untere Curve entspricht dem

TABELLE XXX.

Januartemperaturen auf dem Polarkreise und 50° nördlicher Breite.

Meridian	Temperatur		Meridian	Temperatur	
	Polarkreis	50° n. Br.		Polarkreis	50° n. Br.
180° w. L.	— 20° C.	— 2° C.	0° ö. L.	+ 1° C.	+ 4° C.
160° =	— 16° =	0° =	20° =	— 5° =	— 6° =
140° =	— 15° =	+ 3° =	40° =	— 22° =	— 10° =
120° =	— 27° =	— 1° =	60° =	— 25° =	— 15° =
100° =	— 32° =	— 15° =	80° =	— 28° =	— 13° =
80° =	— 30° =	— 16° =	100° =	— 32° =	— 18° =
60° =	— 22° =	— 7° =	120° =	— 38° =	— 21° =
40° =	— 8° =	0° =	140° =	— 37° =	— 15° =
20° =	— 3° =	+ 7° =	160° =	— 27° =	— 7° =
0° =	+ 1° =	+ 4° =	180° =	— 20° =	— 2° =

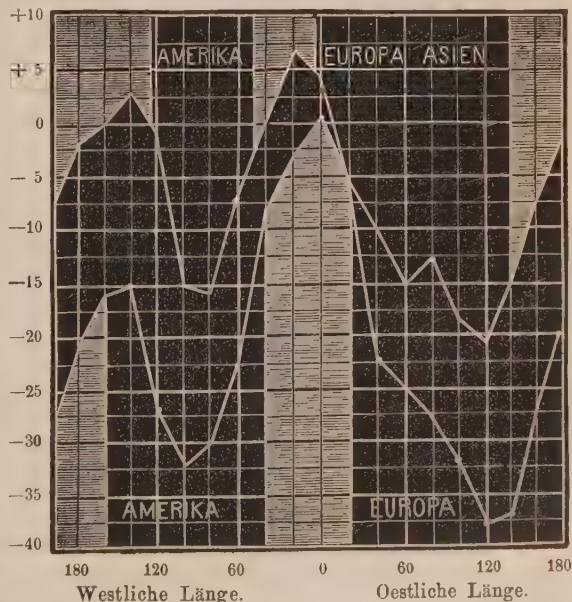
Polarkreise, die obere dem 50.° nördlicher Breite. Die schraffirten Felder bedeuten die grossen Meere, die nicht schraffirten die Continente, die senkrechten Linien des Netzes sind die Meridiane, die horizontalen die Temperaturgrade.

Grade Cels.

Fig. 15.

Die vom Meer absorbirte Wärme wird durch die Vermittlung der beständig in Bewegung befindlichen Luft durch die Winde nach den Küsten hingetragen, deshalb sinkt an den Küsten die Wintertemperatur nicht so tief, wie im Innern der Continente; besonders begünstigt ist

in dieser Beziehung Europa, dessen nordöstlichen Theilen durch den Golfstrom ergiebige Wärmemassen zugeführt werden. Obwohl der-





selbe aber erst ganz nahe an der Ostküste von Amerika hinzieht, wird hier kein Einfluss auf die Temperaturverhältnisse dieses Continentes bemerklich, da auf der nördlichen Halbkugel West- und Südwestwinde vorherrschen, welche die Wärme des Golfstromes gerade von Amerika weg und nach Europa hinführen (vergl. Luftbewegung).

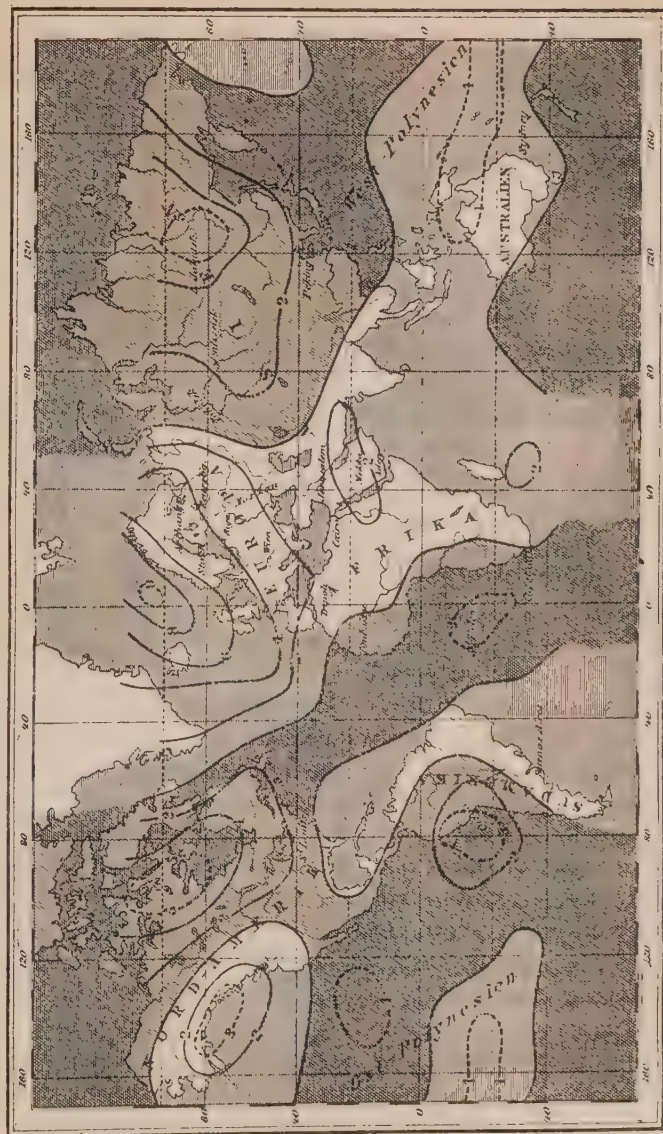
Es muss hier noch der sogenannten Isanormalen Erwähnung geschehen, da die Darstellung einer Karte der Isanormalen ein recht deutliches Bild von der Ungleichheit der Wärmevertheilung in verschiedenen Ländern gibt. DOVE<sup>1)</sup> hat für jeden Breitengrad für 36 gleichweit voneinander entfernte Punkte die mittlere Temperatur des Jahres berechnet und aus diesen 36 Zahlen ein Mittel gezogen, welches er als die mittlere Temperatur des Parallels bezeichnet; Tabelle XXVIII auf S. 73 enthält die entsprechenden Zahlen für die nördliche Halbkugel. Dieser Temperatur entspricht durchaus nicht immer die mittlere Temperatur eines Ortes auf dem gleichen Breitengrade, sondern es ergibt sich eine Differenz zwischen beiden, die unter Umständen bis zu 11° C. ansteigen kann. Verbindet man nun alle Orte, welche gleichgrosse Differenz zwischen mittlerer Temperatur des Parallels und mittlerer Jahrestemperatur zeigen, durch Linien miteinander, so erhält man die thermischen Isanormalen des Jahres. Eine Karte der Isanormalen des Jahres ist in Fig. 16 dargestellt. Jene Theile der Erdoberfläche, deren Temperatur niedriger ist, als die Temperatur des Parallels, wurden schraffirt, die anderen wurden hell gehalten. Ebenso wie für das Jahr hat man auch für den heissesten und kältesten Monat Isanormalen construirt, welchen eben die Mitteltemperaturen der betreffenden Monate Januar und Juli zu Grunde liegen. (Vergl. Atlas zu MÜLLER'S Kosmischer Physik, Taf. 36 u. 37.) Alle diese Karten zeigen, dass Europa sowohl während des Sommers, als auch während des Winters und während des ganzen Jahres eine höhere Temperatur besitzt, als ihm wegen seiner geographischen Breite zukommt. Die Westküste Amerikas ist im Winter und im ganzen Jahre etwas wärmer, als die Ostküste; in Südamerika ist die Ostküste gegenüber der Westküste mehr begünstigt. Asien hat im Januar viel intensivere Kälte, im Sommer etwas höhere Temperatur, als seiner Breite entspricht u. s. f.

Zu den die Wärmevertheilung auf der Erde regulirenden Factoren gehört, ausser den bisher besprochenen, noch die Höhe über dem Meeresspiegel. Bei Bergbesteigungen, bei Ballonfahrten nimmt man wahr, dass die Temperatur in den höheren Schichten der Atmosphäre immer niedriger wird. Die ersten wissenschaftlichen Ballon-

1) Die Verbreitung der Wärme auf der Erdoberfläche. Berlin 1852.



Fig. 16.



fahrten wurden von GAY LUSSAC unternommen; er fand gelegentlich einer solchen am 16. September 1804 ausgeführten Erhebung folgende Temperaturen in verschiedenen Höhen.<sup>1)</sup> Das Ergebniss ist wohl die

TABELLE XXXI.

**Abnahme der Temperatur mit der Erhebung über die Erdoberfläche.**

Höhe	Temperatur	Höhe	Temperatur
0 Mt.	30,80° C.	5270 Mt.	4,38° C.
3033 =	12,50° =	5522 =	2,50° =
3414 =	10,94° =	5634 =	0,00° =
3694 =	8,44° =	5678 =	0,62° =
3818 =	10,38° =	6044 =	— 3,12° =
4514 =	8,75° =	6110 =	— 1,56° =
4736 =	8,13° =	6146 =	— 3,44° =
4811 =	7,19° =	6887 =	— 6,88° =
5004 =	5,94° =	6981 =	— 9,38° =
5138 =	0,95° =		

Thatsache, dass die Temperatur mit der Höhe der Atmosphäre abnimmt, jedoch durchaus nicht so regelmässig, als man vielleicht erwarten könnte. GAY LUSSAC kam in Höhen, welche höhere Temperatur hatten, als darunter gelegene Luftschichten; viermal konnte er bei weiterem Aufsteigen eine Zunahme der Wärme constatiren. Zu noch höheren Regionen erhob sich GLAISHER am 3. September 1862 von Greenwich aus, und beobachtete dabei in einer Höhe von

0 Mt.	15° C.
1600 =	5° =
3218 =	0° =
6437 =	— 13° =
8000 =	— 19° =
11000 =	— 24° = 2)

Die Abnahme der Temperatur mit der Höhe kann wegen der verschiedenen Strömungen, welche in der Luft beständig herrschen, keine regelmässige sein; dennoch hat man versucht, die Höhe zu berechnen, um welche man sich erheben muss, um eine Temperaturverminderung um 1° C. zu beobachten. HUMBOLDT<sup>3)</sup> fand in Südamerika unter dem Aequator für 1° Temperaturabnahme eine Höhe von 750 Fuss (ca. 240 Mt.). Neuere Untersuchungen in Genf und am St. Bernhard<sup>3)</sup> ergaben beträchtliche Verschiedenheiten zwischen der Tages- und Jahreszeit. Im December entspricht dort Morgens

1) KÄMTZ, Lehrbuch der Meteorologie. Bd. 2. S. 132.

2) GLAISHER, FLAMMARION, FOUVIELLE, TISSAUDIER, Voyages aériens. Paris 1870.

3) CITIRI in MOHN, Grundzüge der Meteorologie. 3. Aufl. S. 42.

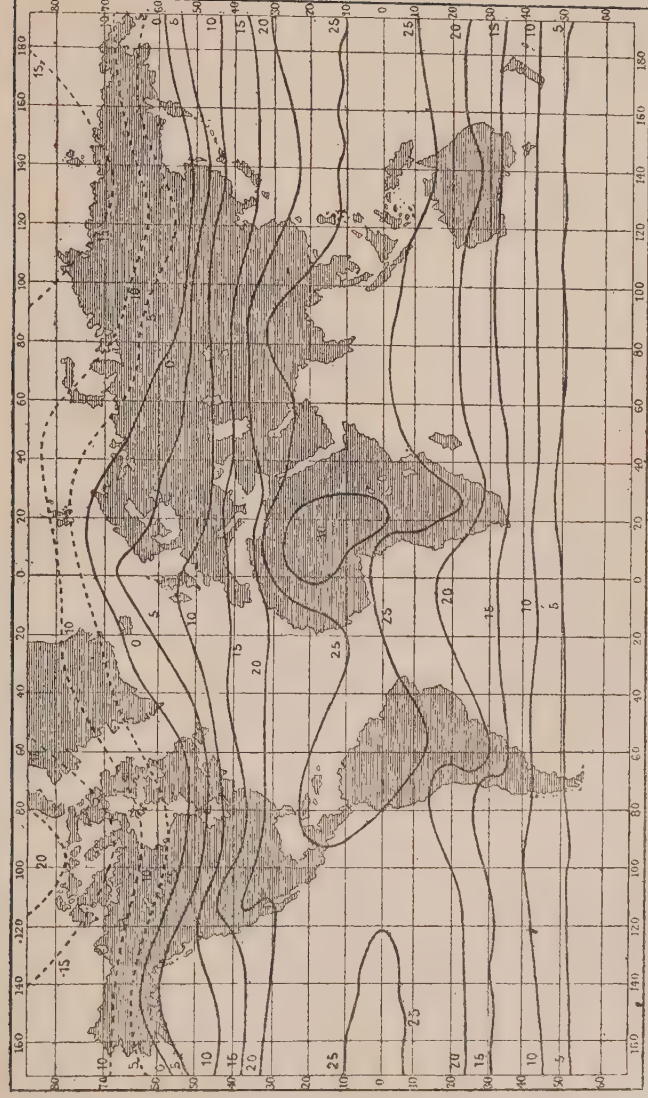


Figure 12.

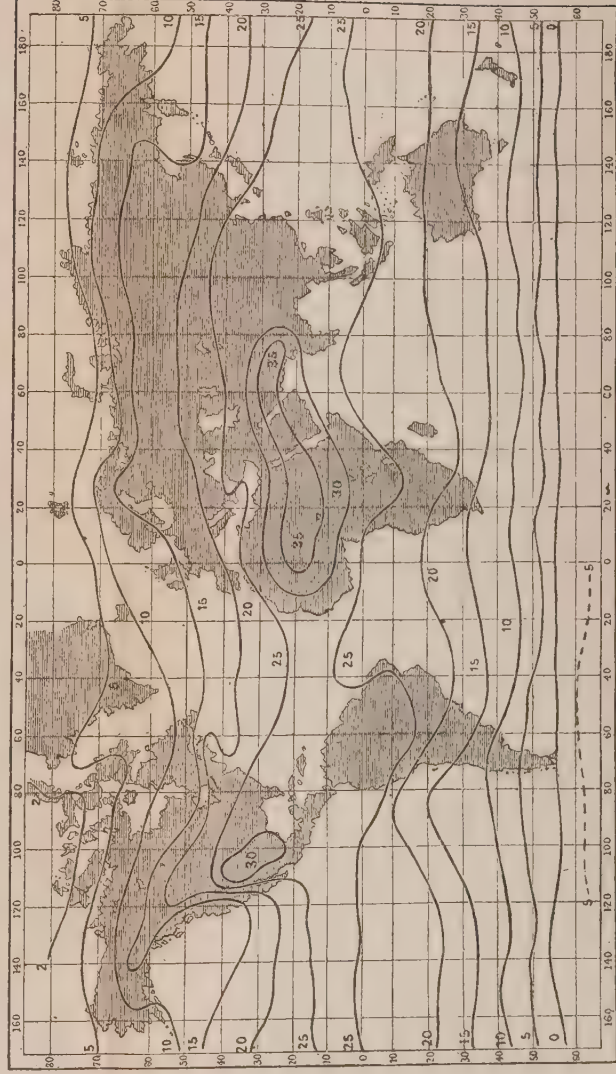
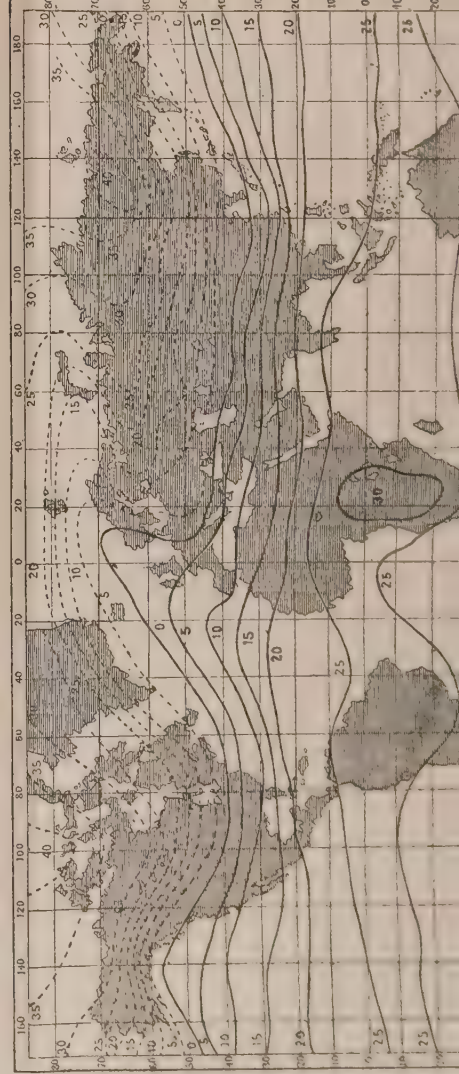


Figure 13.









das Fallen des Thermometers um  $1^{\circ}$  C. einer Erhebung von 276 Mt., im Juli dagegen und Nachmittags einer solchen von nur 147 Mt. Allgemein lässt sich annehmen, dass bei Erhebung von je 100 Mt. die Temperatur um 0,5—0,6 C. abnimmt. Die Abnahme der Temperatur mit der Erhebung über Meeresniveau wird deutlich sichtbar an den grossen Gebirgen, an deren Fuss üppigste Vegetation vorhanden sein kann, während ihre Gipfel aller Vegetation baar entweder kahl oder mit ewigem Schnee bedeckt gegen Himmel ragen. Für jede grössere Gebirgskette gibt es eine Grenze, oberhalb welcher der Schnee auch in den heissesten Monaten nicht wegschmilzt, die Schneegrenze. Dieselbe rückt um so tiefer herab, je weiter das Gebirge vom Aequator entfernt ist, und liegt z. B. unter  $71\frac{1}{4}^{\circ}$  nördlicher Breite

an der Küste von Norwegen . . . . .	720 Mt. über Meeresniveau			
in Island . . . . .	$65^{\circ}$ n. Br.	936	=	=
in den Alpen . . . . .	$46^{\circ}$	=	2708	=
am Aetna . . . . .	$37\frac{1}{2}^{\circ}$	=	2905	=
im Himalaja . . . . .	$31^{\circ}$	=	4500	=
in Mexico . . . . .	$19^{\circ}$	=	4500	=
in Quito . . . . .	$0^{\circ}$	=	4800	=

Nachdem im Vorausgehenden die Wärmevertheilung auf der Erde im Allgemeinen skizzirt wurde, muss noch auf die Veränderlichkeit der Temperatur an Ort und Stelle näher eingegangen werden. Das hygienisch wichtigste Moment in dieser Beziehung sind die Schwankungen der Temperatur innerhalb kurzer Zeiträume, z. B. im Laufe eines Tages, da solche viel eher einen nachtheiligen Einfluss auf den Menschen auszuüben im Stande sind, als die innerhalb grösserer Zeiträume, z. B. des Jahres, vor sich gehenden Aenderungen.

Entsprechend der Axendrehung der Erde und den dadurch bedingten wechselnden Stellungen eines Ortes zur Sonne entsteht für jeden Punkt der Erde eine tägliche Periode der Temperatur, welche überall durch eine einfache Welle dargestellt wird. Mit Sonnenaufgang erhebt sich die Temperatur und wächst beständig an, selbst noch einige Zeit, nachdem die Sonne ihren höchsten Stand für den betreffenden Tag erreicht hat; 1—2 Stunden nach Mittag hat sie ihr Maximum erreicht und fällt nun beständig ab bis zu Sonnenaufgang. Dieser Gang ist im Sommer ein etwas bewegterer, da die Sonne bei höherem Stande intensiver erwärmt als im Winter, während die Ausstrahlung während des ganzen Jahres insofern sich gleich bleibt, als der Weltraum constant die gleiche niedere Temperatur behält. Andererseits ist auch

1) MÜLLER, Kosmische Physik. S. 522.

die Dauer der Einstrahlung an Sommertagen eine längere, als an Wintertagen, und muss auch deswegen ein Unterschied in der Amplitude der Temperaturbewegung zwischen Sommer und Winter im

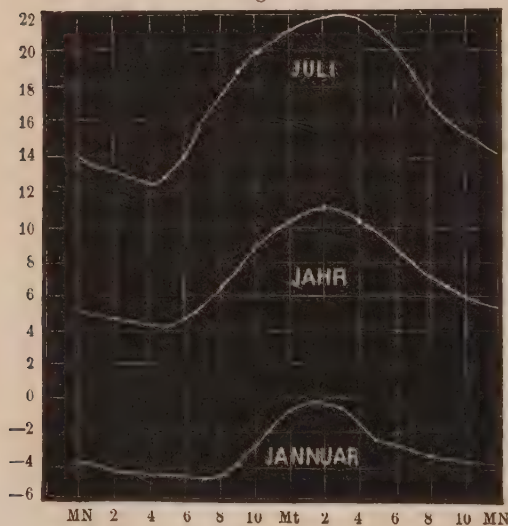
TABELLE XXXII.

Täglicher Gang der Temperatur in München nach Lang.<sup>1)</sup>

Zeit	Jahr	Januar	Juli	Zeit	Jahr	Januar	Juli
	° Cels.	° Cels.	° Cels.		° Cels.	° Cels.	° Cels.
Mittern.	5,36	— 3,85	14,09	Mittag	10,63	— 0,92	21,16
1	5,06	— 3,99	13,54	1	11,06	— 0,42	21,56
2	4,80	— 4,07	13,20	2	11,23	— 0,39	21,80
3	4,56	— 4,22	12,82	3	11,08	— 0,75	21,90
4	4,36	— 4,30	12,49	4	11,60	— 1,49	21,59
5	4,35	— 4,36	12,83	5	9,84	— 2,26	21,10
6	4,79	— 4,45	14,37	6	8,94	— 2,65	20,15
7	5,57	— 4,47	16,08	7	8,00	— 2,97	18,79
8	6,68	— 4,40	17,65	8	7,19	— 3,21	17,14
9	7,91	— 3,67	18,96	9	6,58	— 3,39	16,12
10	9,05	— 2,62	19,93	10	6,12	— 3,54	15,31
11	9,97	— 1,73	20,63	11	5,71	— 3,72	14,66

erwähnten Sinne zu Stande kommen. In Tabelle XXXII wurde der tägliche Gang der Temperatur in München, wie er sich aus 33jährigen

Fig. 17.



Beobachtungen für das ganze Jahr, für den kältesten und wärmsten Monat ergibt, berechnet und in Fig. 17 graphisch aufgetragen. Es geht daraus, abgesehen von der absoluten Differenz der Temperatur entsprechend der Jahreszeit, der Unterschied in der Amplitude der Bewegung deutlich hervor, auch wird ersichtlich, dass die Temperatur in der kalten Jahreszeit viel später zu steigen beginnt, als im Sommer, was

1) Berechnet nach den Resultaten 67jähriger Beobachtungen in München, bearb. von Dr. C. LANG, Beobachtungen der met. Stationen im Königr. Bayern 1882. Bd. IV. S. 175 u. 183.

aus dem im Sommer früher als im Winter erfolgenden Sonnenaufgang seine Erklärung findet. Die Bewegung der Temperatur im Laufe des Tages ist an allen Punkten der Erdoberfläche die gleiche, nur kommen Verschiedenheiten in der Amplitude der Welle zur Beobachtung. Orte an der Meeresküste unterscheiden sich von Orten in Mitte der grossen Continente durch eine viel geringere Amplitude der täglichen Temperaturperiode, als letztere besitzen. Es geht dies am besten aus folgender Zusammenstellung der täglichen Amplitude verschiedener Orte hervor.

TABELLE XXXIII.

## Amplitude der täglichen Temperaturperiode.

Meeresküste	Amplitude des		Binnenorte	Amplitude des	
	kältesten Monats	wärmsten Monats		kältesten Monats	wärmsten Monats
Boothia Felix	I. 0,33°	VIII. 4,55°	Halle . . . . .	I. 2,36°	VIII. 9,20°
Bergen . . . .	I. 1,1°	VIII. 5,2°	München . . .	I. 4,07°	VIII. 9,41°
Apenrade . .	I. 1,6°	VIII. 5,96°	Barnaul . . .	I. 5,5°	VIII. 10,6°
Schwerin . .	I. 1,5°	VIII. 7,78°	Nertschinsk .	I. 5,21°	VI. 11,63°
Plymouth . .	I. 2,31°	VIII. 6,39°			

Wie schon angedeutet, verläuft die Temperatur nicht jeden Tag des Jahres in der eben besprochenen Regelmässigkeit; verhindern z. B. Wolken die Sonnenstrahlung, so erhebt sich die Temperatur im Laufe des Tages weniger hoch, als dem täglichen Gange entspricht; Winde können plötzlich Temperatursteigerung oder -verminderung hervorrufen, je nachdem sie kalte oder warme Luftmassen von entfernten Gegenden bringen. So kann die Amplitude der täglichen Periode entweder grösser oder kleiner werden, als dem Monats- oder Jahresmittel entspricht.

In folgender Tabelle XXXIV ist für eine Reihe von Jahren (1845 bis 1880) die höchste alljährlich beobachtete Temperaturschwankung innerhalb 24 Stunden in München mit Angabe des Datums verzeichnet. Während die Amplitude der täglichen Bewegung der Temperatur in München im Januar durchschnittlich 4,07° und im Juli 9,41° C. beträgt (Tab. XXXIII), mithin derartige Schwankungen innerhalb 24 Stunden als Norm betrachtet werden müssen, zeigt diese Tabelle dass an einzelnen Tagen Differenzen bis zu 22,7° C. vorkommen können; hauptsächlich sind es die Monate April (7 mal), Mai (7 mal), Juni (6 mal), welche die grössten Temperaturdifferenzen ergeben, während November und December jener 36jährigen Periode niemals Tage der grössten Amplitude aufwiesen.

## TABELLE XXXIV.

Grösste Tagesschwankung der Temperatur.<sup>1)</sup>

Jahr	Monat	Tag	Temp.	Jahr	Monat	Tag	Temp.	Jahr	Monat	Tag	Temp.	Jahr	Monat	Tag	Temp.
1845	IV	9	17,1	1854	IX	12	18,8	1863	IV	21	20,1	1872	VIII	8	19,5
1846	VI	27	17,5	1855	V	21	19,3	1864	IX	12	22,3	1873	VIII	10	20,0
1847	III	17	15,4	1856	II	4	20,9	1865	X	5	22,3	1874	X	28	17,8
1848	V	29	19,1	1857	III	14	20,1	1866	VI	22	19,7	1875	IX	13	18,5
1849	VI	19	18,1	1858	V	22	21,9	1867	IV	19	17,8	1876	V	20	22,7
1850	II	1	21,7	1859	VII	18	20,3	1868	V	3	17,6	1877	VIII	20	17,6
1851	VI	21	18,5	1860	IV	17	19,5	1869	V	6	21,4	1878	VI	13	19,6
1852	V	16	19,4	1861	IV	21	21,2	1870	VI	25	19,8	1879	IV	9	16,6
1853	VIII	20	18,4	1862	{ III IV	24 25	20,8	1871	IX	11	18,0	1880	I	19	17,5

Welche Abweichungen der normale Gang der Temperatur unter dem Einfluss der Bewölkung erleidet, darüber hat AUGUSTIN<sup>2)</sup> in Prag Beobachtungen angestellt und folgende Resultate erhalten. Dasselbst beträgt die Differenz zwischen dem Minimum des kältesten Monats und Minimum des wärmsten Monats:

a) bei unbedecktem Himmel . . . . . 27,74°

b) „ bedecktem Himmel . . . . . 16,41°

die Differenz der entsprechenden Maxima:

a) bei unbedecktem Himmel . . . . . 34,05°

b) „ bedecktem Himmel . . . . . 18,78°.

Im Winter wird durch den bedeckten Himmel mehr das Minimum, im Sommer mehr das Maximum beeinflusst. An klaren Tagen sinkt die Temperatur von 6 Uhr Abends an bis zu ihrem Minimum um durchschnittlich 5,6° tiefer, als an trüben Tagen, im April und Mai sogar um 7,5°. Die Amplitude des täglichen Ganges ist an klaren Tagen durchschnittlich 9,72°, an trüben 3,07°; die Extreme, Minimum und Maximum, treten an klaren Tagen, ersteres  $\frac{1}{2}$ —1 Stunde, letzteres  $\frac{1}{4}$ — $\frac{3}{4}$  Stunde später ein, als bei bedecktem Himmel. Wie die Bewölkung endlich auch noch das Tagesmittel beeinflusst, darüber gibt folgende Tabelle (XXXV), welche keiner weiteren Erläuterung bedarf, Aufschluss.

Es ist hier der Ort, über die absolut höchsten und niedrigsten Temperaturen einige Angaben zu machen. Wie weit diese Extreme

1) LANG I. c. S. 180.

2) Sitzungsberichte der böhm. Gesellsch. der Wissenschaften in Prag. 1880. S. A., und Naturforscher. 1880. S. 377.



TABELLE XXXV.

Mittlere Tagestemperatur in Prag: a) im Durchschnitt, b) bei unbedecktem Himmel, und c) bei bedecktem Himmel.

	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.	Jahr
a) Mittel von 38 Jahren . . . . .	—1,42	—0,07	3,18	9,14	14,02	18,06	19,73	19,24	15,14	9,79	3,57	—0,19	9,18
b) Mittel aus 846 heiteren Tagen	—8,46	—5,36	2,73	9,41	15,82	19,55	21,95	21,46	16,57	9,24	0,00	—5,74	8,09
c) Mittel aus 2279 trüben Tagen .	—1,12	0,59	3,15	7,51	11,92	15,04	16,46	16,88	13,15	8,89	3,48	0,30	8,02

an einem und demselben Orte auseinanderliegen können, zeigen beispielsweise 67 jährigen Beobachtungen in München; während dieser Periode wurde die tiefste Temperatur am 2. Februar 1830 zu  $-30,1^{\circ}$  C. und die höchste zu  $37,5^{\circ}$  C. am 1. August 1791 beobachtet (Differenz  $67,6^{\circ}$  C.). Die absolut höchsten Temperaturen ereignen sich selbstverständlich in den Tropen. In dem für die südliche Halbkugel heißen Sommer 1878—1879 wurden in Neustüdwaies in Australien während des Novembers 1878 Temperaturen von  $45^{\circ}$  und  $47,5^{\circ}$  C. beobachtet, in Gippsland (Victoria) an der Sonne  $51,25^{\circ}$ . NACHTIGALL hat auf seinen Reisen in Afrika Schattentemperaturen von  $49,4^{\circ}$  C. auszuhalten gehabt.<sup>1)</sup> Nach einer Zusammenstellung von MAHLMANN<sup>2)</sup> aus dem Jahre 1841 sind die höchsten bis damals beobachteten Temperaturen  $56,2^{\circ}$  in der Oase Murzuk (Sahara),  $53,9^{\circ}$  am Flusse Macquaire (Australien),  $52,5^{\circ}$  in Abu-Arich (Arabien). In Abessinien steigt die Temperatur nach ROBERT<sup>3)</sup> bisweilen auf  $60^{\circ}$  C. und an der Küste des rothen Meeres bis auf  $65^{\circ}$  C. Auch in höheren Breiten kommen sehr hohe Temperaturen vor, so in London, wo am 12. Juni 1852  $41^{\circ}$  beobachtet wurden. In Sibirien kommen in der Gegend des Kältepoles (s. unten) im Sommer Temperaturen von  $38,8^{\circ}$  (Jakutzk) und  $37,5^{\circ}$  (Ustjanzk) vor.

Diesen hohen Temperaturen stehen andererseits ungemein tiefe Wärmegrade gegenüber. MAHLMANN (l. c.) berichtet, dass im Jahre 1838 zu Jakutzk (Sibirien) —  $60^{\circ}$  beobachtet wurden, dass von BOCK im Fort Reliance —  $56,6^{\circ}$  abgelesen und von KANE 1842 im Rensselaerhafen —  $55,4^{\circ}$  beobachtet wurden. In neuerer Zeit hat man noch tiefere Temperaturen in Jakutzk beobachtet, nämlich —  $62^{\circ}$ ,

1) STAPFF in: Archiv f. Anatomie und Physiologie von DUBOIS-REYMOND und REICHERT. B. 1879. Suppl. V. S. 74. 2) Repertorium der Physik von DOVE. 1841. Bd. 4. S. 172 u. 173. 3) KLEIN, Allgemeine Witterungskunde S. 27.

und als niedrigste —  $63^{\circ}$  C. in Werchojansk (ebenfalls in Sibirien). Der Winter ist in jenen Gegenden so kalt, dass in Jakutzk innerhalb 10 Jahren das Thermometer im Januar sich nie über —  $17,7^{\circ}$  erhob. NORDENSKJÖLD <sup>1)</sup> gibt für seine Ueberwinterung in der Behringsstrasse von September 1878 bis Juli 1879 folgende Temperaturverhältnisse an:

TABELLE XXXVI.

		Minimum	Maximum	Mittel
October	1878 . . .	— $20,8^{\circ}$	+ $0,8^{\circ}$	— $5,21^{\circ}$
November	= . . .	— $27,2^{\circ}$	— $6,3^{\circ}$	— $16,59^{\circ}$
December	= . . .	— $37,1^{\circ}$	+ $1,2^{\circ}$	— $22,81^{\circ}$
Januar	1879 . . .	— $45,5^{\circ}$	— $4,1^{\circ}$	— $25,05^{\circ}$
Februar	= . . .	— $43,8^{\circ}$	+ $0,2^{\circ}$	— $25,08^{\circ}$
März	= . . .	— $39,8^{\circ}$	— $4,2^{\circ}$	— $21,65^{\circ}$
April	= . . .	— $38,0^{\circ}$	— $4,6^{\circ}$	— $18,93^{\circ}$
Mai	= . . .	— $26,8^{\circ}$	+ $1,8^{\circ}$	— $6,97^{\circ}$
Juni	= . . .	— $14,3^{\circ}$	+ $6,8^{\circ}$	— $0,60^{\circ}$

Die Differenz der grössten im Vorstehenden angegebenen Extreme (—  $63^{\circ}$  C. (Werchojansk) und +  $65^{\circ}$  C. (rothes Meer)) ist  $128^{\circ}$ !

Die Construction der Tagesmittel und deren Gruppierung nach Monaten führt zu einer Zahlenreihe, welche man den jährlichen Gang der Temperatur nennt. Dieser wird, wie schon weiter oben bei Erörterungen der Jahreszeiten angedeutet wurde, am Aequator durch eine zweigipfelige Curve dargestellt, deren beide Maxima nach den Wendekreisen hin immer mehr zusammenrücken, bis endlich auf den Wendekreisen eine eingipfelige Curve zu Stande kommt, welche Form auch für alle aussertropischen Gegenden der Erde characteristisch ist. Nur ist die Bewegung der jährlichen Periode, je nach der geographischen Lage, eine sehr verschiedene. In erster Linie kommt die Entfernung vom Aequator in Betracht. In den Tropen ist die Amplitude der jährlichen Periode eine weit geringere, als in den Polargegenden, wie aus Tabelle XXIX zur Evidenz hervorgeht. Ebenso grosse Differenzen, wie dort für die Entfernung vom Aequator nach den Polen hin, findet man aber auch auf einem und demselben Breitengrade, bedingt durch die Vertheilung von Land und Wasser. MOHN <sup>2)</sup> gibt ein Beispiel hierfür, indem er für 9 auf einer quer durch den atlantischen Ocean, Europa und Asien gezogenen Linie gelegene Orte die jährliche Amplitude, d. h. die Differenz zwischen den Mitteltemperaturen des wärmsten und kältesten Monats, Januar und Juli, berechnete. Dieselbe beträgt:

1) Naturforscher 1880. S. 30.

2) Grundzüge der Meteorologie. S. 40.

## TABELLE XXXVII.

## Jährliche Amplitude der Temperatur.

In Thorshaven (Faröerinseln) . . . . .	8° C.
= Udsire (norwegische Westküste) . . . . .	13° =
= Christiania (mitten in Skandinavien) . . . . .	22° =
= St. Petersburg . . . . .	27° =
= Kasan . . . . .	33° =
= Barnaul (westliches Sibirien) . . . . .	39° =
= Irkutsk (östliches Sibirien) . . . . .	40° =
= Nikolajewsk (am Amur) . . . . .	39° =
= Hakodadi (Japan) . . . . .	24° =

Diese Linie, auf dem Meere beginnend, streicht erst über Küstenländer, um dann das Innere eines grossen Continents zu passiren und an der Ostküste desselben zu endigen. Es ist der Unterschied von Continental- und Seeklima, welcher sich in obiger Tabelle ausdrückt und welcher dadurch characterisirt ist, dass Orte im Innern grosser Festländer kältere Winter und wärmere Sommer haben, als in gleicher Breite liegende Küstenländer oder Inseln. Einer Zusammenstellung in MÜLLER's Lehrbuch der Physik und Meteorologie<sup>1)</sup> ist folgende kleine Tabelle über die jährliche Amplitude mehrerer Städte in Europa entnommen.

## TABELLE XXXVIII.

## Jährliche Amplitude der Temperatur.

Orte	Mittlere Temperatur			Amplitude	Orte	Mittlere Temperatur			Amplitude
	Jahr	heissester Monat	kältester Monat			Jahr	heissester Monat	kältester Monat	
<i>Seeklima :</i>					<i>Continentalklima :</i>				
Gibraltar . .	19,6	26,4	14,3	12,1	Berlin . . . . .	9,0	18,8	— 2,4	21,2
London . . .	10,4	17,5	2,8	14,7	Breslau . . . . .	8,2	18,5	— 2,2	20,7
Dublin . . .	9,5	15,9	3,6	12,3	Carlsruhe . . . . .	8,3	19,8	— 0,2	20,0
Edinburg . .	8,4	14,9	3,0	11,9	München . . . . .	7,4	17,2	— 3,0	20,2
					Tubingen . . . . .	8,2	17,7	— 1,8	19,5

Relativ die geringste Wichtigkeit für die hygienische Beurtheilung der Temperaturverhältnisse eines Ortes kommt der mittleren Jahrestemperatur zu. Ein Vergleich mehrerer Orte nach ihrer mittleren Jahrestemperatur allein würde zu ganz falschen Schlüssen Ver-

1) Bd. III. S. 604.

## TABELLE XXXIX.

Jahresmittel und Monatsmittel des wärmsten und kältesten Monats.

	Geo- graphische Breite	Mittlere Temperatur des			Jährliche Amplitude
		Jahres	heissesten Monats	kältesten Monats	
Singapore . . . . .	1° 17'	27,0°	28,0°	25,8°	2,2°
Guinea . . . . .	5° 30'	27,4°	28,7°	25,0°	3,7°
Batavia . . . . .	6° 9'	25,8°	26,6°	23,8°	2,8°
Kouka . . . . .	13° 10'	28,6°	33,5°	22,1°	11,4°
Calcutta . . . . .	22° 38'	28,0°	32,4°	20,7°	11,7°
Rio Janeiro . . . . .	23° 54' S.	23,2°	26,7°	19,5°	7,2°
Havannah . . . . .	23° 9'	25,1°	27,5°	21,9°	5,6°
Cairo . . . . .	30° 2'	22,2°	29,9°	12,9°	17,0°
Bermudas . . . . .	32° 30'	19,6°	24,9°	13,8°	11,1°
Funchal . . . . .	32° 38'	19,8°	23,2°	18,2°	5,0°
Capstadt . . . . .	33° 56' S.	19,1°	24,4°	14,3°	10,1°
Adelaide . . . . .	34° 35' S.	20,2°	29,1°	12,4°	16,7°
Gibraltar . . . . .	36° 7'	19,6°	26,4°	14,3°	12,1°
Algier . . . . .	36° 47'	17,9°	24,8°	11,6°	13,2°
Peking . . . . .	39° 54'	12,5°	27,5°	— 3,7°	31,2°
New-York . . . . .	40° 43'	10,9°	27,9°	— 4,2°	27,1°
Neapel . . . . .	40° 52'	15,2°	23,7°	8,1°	15,6°
Albany . . . . .	42° 39'	9,0°	22,2°	— 4,5°	26,7°
Hobart Town . . . . .	42° 53' S.	11,4°	18,2°	4,5°	13,7°
Sebastopol . . . . .	44° 36'	11,6°	21,8°	1,2°	20,6°
Halyfax . . . . .	44° 39'	4,5°	21,1°	— 7,7°	28,8°
Bordeaux . . . . .	44° 50'	13,9°	22,9°	5,0°	17,9°
Astrachan . . . . .	46° 21'	12,2°	25,4°	— 10,8°	36,2°
Quebec . . . . .	46° 48'	5,5°	23,0°	— 10,8°	33,8°
München . . . . .	48° 9'	7,4°	17,2°	— 3,0°	20,2°
Tubingen . . . . .	48° 31'	8,2°	17,7°	— 1,8°	19,5°
Fort Vancouver . . . . .	48° 37'	11,0°	18,9°	3,3°	15,6°
Paris . . . . .	48° 50'	10,8°	18,8°	1,9°	16,9°
Frankfurt a. M. . . . .	50° 10'	9,8°	18,9°	— 0,3°	19,2°
Brüssel . . . . .	50° 51'	10,4°	18,0°	1,9°	16,1°
Breslau . . . . .	51° 3'	8,2°	18,5°	— 2,2°	20,7°
Düsseldorf . . . . .	51° 14'	11,0°	19,1°	1,7°	17,4°
London . . . . .	51° 30'	10,4°	17,5°	2,8°	14,7°
Falklandinseln . . . . .	52° 0'	8,5°	12,7°	3,0°	9,7°
Irkutzk . . . . .	52° 17'	0,4°	18,2°	— 19,6°	37,8°
Berlin . . . . .	52° 30'	9,0°	18,8°	— 2,4°	21,2°
Barnaul . . . . .	53° 20'	— 0,4°	19,7°	— 20,8°	40,5°
Dublin . . . . .	53° 21'	9,5°	15,9°	3,6°	12,3°
Moskau . . . . .	55° 45'	4,5°	19,1°	— 10,2°	29,3°
Edinburg . . . . .	55° 58'	8,4°	14,9°	3,0°	11,9°
Sitcha . . . . .	57° 3'	7,5°	14,4°	1,2°	13,2°
Petersburg . . . . .	59° 56'	4,2°	17,6°	— 10,5°	28,1°
Bergen . . . . .	60° 24'	8,2°	15,8°	1,7°	14,1°
Jakutzk . . . . .	62° 1'	— 10,3°	20,3°	— 43,0°	63,3°
Raykiavig . . . . .	64° 8'	4,1°	12,6°	— 1,2°	13,8°
Torneo . . . . .	66° 24'	— 0,5°	16,4°	— 15,9°	32,3°
Ustjansk . . . . .	70° 58'	— 15,5°	—	—	—
Nordcap . . . . .	71° 10'	0,1°	8,0°	5,5°	2,5°
Insel Melville . . . . .	74° 47'	— 18,1°	5,7°	— 35,1°	40,8°



anlassung geben. Um nur einige Beispiele anzuführen: Die mittlere Jahrestemperatur von London ist  $10,4^{\circ}$ , die von Jakutzk in Sibirien —  $10,3$ , sonach die Differenz beider  $= 20,7^{\circ}$ . Trotz dieses colossalen Unterschiedes hat Jakutzk einen heisseren Sommer, als London, die Julitemperatur ist dort  $20,3^{\circ}$ , hier  $17,5^{\circ}$ ; dafür ist aber auch die Januartemperatur in Jakutzk  $-43^{\circ}$  und in London  $+2,8^{\circ}$ . Edinburg und Tübingen haben nahezu gleiche Jahrestemperatur  $8,4^{\circ}$  resp.  $8,2^{\circ}$ . Dennoch ist in Edinburg der Juli um  $2,8^{\circ}$  wärmer und der Januar dafür um  $4,8^{\circ}$  kälter, als in Tübingen. Im grossen Ganzen lässt sich jedoch sagen, dass die mittlere Jahrestemperatur vom Aequator nach den Polen hin abnimmt, wie aus Tabelle XXXIX hervorgeht, welche ausser der Jahrestemperatur einer grossen Anzahl von Orten auch noch die Temperatur des heissesten und kältesten Monats und die jährliche Amplitude enthält.

Nächst der Sonnenwärme, von welcher bis hierher ausschliesslich die Rede war, kommt die Eigenwärme des Erdkörpers in Betracht. Beim Eindringen in das Innere der Erde findet man zunächst, dass bis zu einer gewissen Tiefe eine Einwirkung der Sonnenwärme sich bemerklich macht, und dass entsprechend dem Wechsel der Insolation nach Tages- und Jahreszeit auch eine tägliche und jährliche Periode der Bodentemperatur beobachtet werden kann. Diese Verhältnisse werden an anderer Stelle eingehende Besprechung erfahren (Boden); hier interessirt nur die Temperatur der Luft, wie sie in Höhlen und Bergwerken vorkommt, besonders beim Eindringen in grössere Tiefen, als die sind, bis zu welchen ein Einfluss der Sonne bemerklich wird. In der Tiefe von ca. 30 Mt. hören alle Temperaturschwankungen auf, die Wärme wird constant und nimmt nun zu, je weiter man nach dem Erdinnern eindringt; und zwar entspricht ein Tiefergehen von ca. 30 Mt. einer Temperaturerhöhung von  $1^{\circ}$  C.<sup>1)</sup> Ein Bild von der Zunahme der Temperatur mit der Tiefe geben die Beobachtungen DUNKER's an einem Bohrloche in Sperenberg (Provinz Brandenburg).<sup>2)</sup> Die Temperatur betrug in einer Tiefe von

TABELLE XL.

220 Mt.	$21,6^{\circ}$ C.	534 Mt.	$30,9^{\circ}$ C.
283 =	$23,8^{\circ}$ =	597 =	$33,1^{\circ}$ =
346 =	$26,4^{\circ}$ =	659 =	$35,9^{\circ}$ =
408 =	$26,9^{\circ}$ =	1064 =	$46,5^{\circ}$ =
471 =	$29,1^{\circ}$ =		

1) 33,7 Mt. nach HANN, Zeitschrift der österreich. Gesellschaft für Meteorologie. Bd. XIII. 1878. S. 21.

2) HANN, HOCHSTETTER und POKOMY, Allgemeine Erdkunde. S. 253.

Im Montcenistunnel <sup>1)</sup> wurden beim Baue folgende Gesteinstemperaturen beobachtet:

TABELLE XLI.

Entfernung vom Südportale	Tiefe unter der Erde	Temperatur des Gesteins
1000 Mt.	520 Mt.	17,0 <sup>0</sup> C.
2000 =	520 =	19,4 <sup>0</sup> =
3000 =	520 =	22,8 <sup>0</sup> =
4000 =	520 =	23,6 <sup>0</sup> =
5000 =	910 =	27,5 <sup>0</sup> =
6000 =	1370 =	28,9 <sup>0</sup> =
6448 =	1609 =	29,5 <sup>0</sup> =
7000 =	1447 =	27,0 <sup>0</sup> =

Die Temperatur der Luft in Bergwerken und bei Tunnelbauten ist im Allgemeinen wenig verschieden von der des Gesteines; sie kann dieselbe jedoch um einige Grade übersteigen infolge der Wärmeentwicklung bei der Arbeit; menschliche und thierische Körperwärme, Beleuchtung, die Vornahme von Sprengungen sind mehr oder weniger ergiebige Wärmequellen; andererseits kann aber auch eine energische Ventilation die Lufttemperatur etwas herabsetzen, so dass sie unter die Gesteinstemperatur herabsinkt (STAPFF l. c.). So war die höchste beim Bau des Montcenistunnels beobachtete Temperatur 30,1<sup>0</sup> C., beim Gotthardtunnel 31,5<sup>0</sup> C. Noch höhere Temperaturen wurden beobachtet in einem Bergwerke in Cornwallis: 40<sup>0</sup>, und in der Fahlunkupfergrube beim Eröffnen eines verschütteten Schachtes sogar 52<sup>0</sup> C. (STAPFF).

Die dritte Wärmequelle, unter deren Einfluss die Menschen leben, ist die künstlich durch Verbrennung auf der Erde erzeugte Wärme, obgleich dieselbe im Vergleich zu der von der Sonne nach der Erde ausgesandten Wärme verschwindend klein ist, so entstehen doch gerade unter ihrem Einfluss die höchsten Lufttemperaturen auf der Erde. Besonders sind es die industriellen Zwecken dienenden Heizungen, welche colossale Wärmemengen entwickeln und an die umgebende Luft abgeben. Arbeiten, welche an glühenden Oefen ausgeführt werden müssen, zwingen den Arbeiter, wenn auch nur zeitweilig, zum Betreten einer heissen Atmosphäre; wie hoch in solchen Fällen die Temperatur ansteigen kann, dafür mag eine Zusammenstellung von Temperaturen, wie sie sich unter den Tropen in verschiedenen Räumen von Kriegsschiffen ereignen, zum Belege

1) STAPFF, Archiv für Anatomie und Physiologie von DUBOIS-REYMOND. 1879. Suppl. V. S. 72.

dienen. Tabelle XLII enthält eine Anzahl der daselbst angeführten Beobachtungen nach einer Zusammenstellung von STAPFF. (l. c.)

TABELLE XLII.

Temperaturen in verschiedenen Räumen von Schiffen.

Jahreszeit	Aufenthalt	Maximaltemperatur im		
		Maschinen- raum	Heizraum	Kohlen- raum
Glatdeckcorvette „Ariadne“:				
October 1874 . .	Nordsee . . . . .	36°	58°	—
	Atlantischer Ocean . . . . .	37°	52°	—
	Mitteländisches Meer . . . . .	40°	59°	—
November = . .	Roths Meer . . . . .	50°	67°	40°
	Indischer Ocean . . . . .	43°	64°	—
	Malagastrasse . . . . .	46°	69°	—
Januar 1875 . .	Manila . . . . .	48°	65°	43°
Juli 1876 . .	Chinesisches Meer . . . . .	45°	64°	35°
September = . .	Port Said . . . . .	39°	68°	30°
October = . .	Gibraltar . . . . .	39°	60°	33°
Glatdeckcorvette „Augusta“:				
Mai 1874 . .	Barbados . . . . .	34°	65°	—
Juni = . .	In See . . . . .	28°	58°	30°
September = . .	Rio de Janeiro-Bahia . . . . .	32°	62°	32°
October = . .	Nach Macejo . . . . .	32°	66°	32°
	= Barbados . . . . .	23°	60°	—
Februar 1877 . .	Indischer Ocean . . . . .	28°	50°	28°
August = . .	Sudsee . . . . .	23°	33°	23°
December = . .	Apia . . . . .	43°	54°	40°
Juli 1878 . .	Südchinesisches Meer . . . . .	42°	58°	33°
August = . .	Sundastrasse . . . . .	42°	62°	31°
September = . .	Bab el Mandeb. . . . .	42°	61°	35°
	= = = . . . . .	45°	63°	37°
	Roths Meer . . . . .	40°	63°	37°
	Suez-Canal . . . . .	40°	60°	37°
October = . .	Atlantischer Ocean . . . . .	33°	63°	27°

## 2. Luftdruck.

Die den Erdball umgebende atmosphärische Hülle ist wie alle festen und flüssigen Körper auf der Erdoberfläche der Anziehungskraft der Erde unterworfen und übt daher auf alle in ihr befindlichen Körper einen Druck aus. Die Grösse dieses Druckes wird durch die Höhe einer Quecksilbersäule gemessen, welcher er im leeren Raume das Gleichgewicht zu halten vermag, durch das Barometer.

Die Anziehungskraft der Erde nimmt mit der Entfernung vom Erdmittelpunkte ab, wie dies auch an festen und flüssigen Körpern beobachtet werden kann, deshalb findet man bei Erhebungen in der Luft, Ballonfahrten, Bergbesteigungen, ein beständiges Sinken des Baro-

meters, also eine Verminderung des Luftdruckes. Wäre die Dichtigkeit der Atmosphäre von der Erdoberfläche bis zur oberen Grenze derselben die gleiche, so würde man bei verticaler Erhebung stets gleiche Wege zurücklegen müssen, um ein Sinken des Barometers um 1 Mm. zu beobachten, gleichgültig, ob man vom Meeresspiegel oder von der Spitze eines hohen Berges sich erheben würde. In Wirklichkeit jedoch muss man von höher gelegenen Punkten aus, um einen gleichen Effect zu erzielen, sich um eine bedeutendere Grösse erheben, als an der Meeresküste. Während hier 10,5 Mt. zurückgelegt werden müssen, um eine Verminderung des Barometerstandes zu beobachten, muss man in Potosi, 4165 Mt. über Meeresniveau, 16,8 Mt. aufsteigen.<sup>1)</sup> Es ist dies ein Beweis für die verschiedene Dichtigkeit der Atmosphäre, welche aus der Eigenschaft der Comprimirbarkeit aller Gase hervorgeht; das Gewicht der oberen Luftschichten comprimirt und verdichtet die der Erde näher gelegenen Schichten derselben.

Sehr bedeutend sind die Differenzen im Luftdruck zwischen Meeresniveau und jenen Höhen, welche noch von Menschen bewohnt werden, oder überhaupt je von Menschen erreicht wurden. Am Meeresspiegel ist der Luftdruck am Aequator im Mittel 760 Mm.; nach Norden zu steigt derselbe an bis auf 765,18 Mm. unter dem 32° nördlicher Breite (Madeira); von hier ab sinkt er jedoch wieder bis auf 752 Mm. unter dem 60—70° nördlicher Breite, um nochmals bis Spitzbergen auf 756,76 Mm. anzusteigen.<sup>2)</sup> Man versteht jedoch allgemein unter Luftdruck im Meeresniveau einen solchen von 760 Mm.

Die Höhe der Atmosphäre beträgt nach Schätzungen 75000 bis 90000 Mt.; in diese Höhen vorzudringen ist jedoch keinem Lebewesen möglich; die höchste Erhebung, welche bis jetzt überhaupt erreicht wurde, beträgt nur 11000 Mt., also ein Siebtel der ganzen Höhe der Atmosphäre (GLAISHER, Ballonfahrt).<sup>3)</sup>

Die Abnahme des Druckes mit der Erhebung über das Meeresniveau geht aus folgender Tabelle XLIII<sup>4)</sup> hervor, welche nach der Formel  $H = 18363 \log \frac{B}{b}$  berechnet ist<sup>5)</sup>, worin H die Höhe über dem Meeresspiegel, B den Barometerstand im Meeresniveau = 760 Mm., und b den gesuchten mittleren Barometerstand für die betreffende Höhe bedeutet.

1) MÜLLER, Kosmische Physik. S. 611.

2) Ibidem. S. 623.

3) PAUL BERT, La pression barometrique. p. 199.

4) MÜLLER, Kosmische Physik. S. 626.

5) Ibidem S. 625.



TABELLE XLIII.

Abnahme des Luftdruckes in Millimetern mit der Höhe.

Höhe	Luftdruck	Höhe	Luftdruck	Höhe	Luftdruck
Meeresspiegel	760,0	5000 Mt.	406,0	10000 Mt.	216,9
1000 Mt.	670,4	6000 "	358,2	11000 "	191,1
2000 "	591,5	7000 "	316,0	12000 "	168,8
3000 "	521,7	8000 "	278,8	15000 "	115,9
4000 "	460,3	9000 "	245,9	20000 "	61,9

Einige der höchstgelegenen, noch von Menschen bewohnten Ortschaften sind aus einer umfangreichen Zusammenstellung von PAUL BERT<sup>1)</sup> in Tabelle XLIV zusammengestellt; auch für diese wurde der Luftdruck nach obiger Formel berechnet.

TABELLE XLIV.

Höchstgelegene bewohnte Orte.

	Höhe	Luftdruck
<b>A. Europa:</b>		
Das Hospiz auf dem St. Gotthard .	2090 Mt.	584,8 Mm.
" " " " St. Bernhard	2470 "	557,6 "
<b>B. Asien:</b>		
Ein Dorf im Himalaja . . . . .	4390 "	438,3 "
Thok Djalank in Thibet . . . . .	4980 "	407,0 "
<b>C. Amerika:</b>		
Mexico . . . . .	2290 "	570,3 "
Quito . . . . .	2910 "	521,7 "
La Paz . . . . .	3720 "	476,7 "
Tacora . . . . .	4170 "	450,5 "
Potosi . . . . .	4165 "	450,9 "
Cerro de Pasco . . . . .	4350 "	440,5 "
In Peru und Bolivia wohnt der grösste Theil der Bevölkerung über . .	3000 "	521,7 "
Bergwerke von Huancavelica . .	4655 "	424,0 "
" " Villacota . . . . .	5042 "	352,2 "

Von wissensdurstigen Naturforschern wurden noch bedeutendere Höhen erreicht, die Spitze des Popocatepetl in Südamerika 5420 Mt. hoch, der Dawalaghiri 8185 Mt. hoch im Himalaja und der höchste Berg der Welt, der Gaurisankar oder Everest in Amerika 8840 Mt. Die mittleren Barometerstände für diese 3 Berge berechnen sich zu 385,2, resp. 272,3 und 250,8 Mm. Die höchsten mittelst Luftballon erreichten Höhen sind 8600 Mt. (TISSAUDIER, CROCÉ SPINELLI und SIVEL; die beiden letzteren verloren hierbei das Leben) und 11000 Mt.,

1) PAUL BERT, La pression barometrique. Paris 1878. p. 20.

bis wohin GLAISHER (in bewusstlosem Zustande) gekommen sein will; er berechnete diese Höhe aus der Angabe eines Minimumthermometers (Barom. 191,1 Mm., Tab. XLIII).

Gegenüber solchen Differenzen im Luftdruck bei Erhebung in die Höhe verschwinden die Schwankungen desselben an Ort und Stelle fast gänzlich; in der That ist von einer directen Einwirkung der Luftdrucksschwankungen an Ort und Stelle auf den menschlichen Organismus so viel wie nichts bekannt. Indess können doch diese geringen Schwankungen indirect dadurch, dass sie Luftströmungen ganz localer Art verursachen, für die Hygiene von einiger Wichtigkeit werden, weshalb, wenn auch in Kürze, auf die periodischen Schwankungen des Luftdruckes eingegangen werden muss.

Man kennt, wie bei der Temperatur, auch hier eine tägliche und jährliche Periode des Luftdruckes. Die Ursache für diese Schwankungen ist die Erwärmung der Erde durch die Sonne. Jede Erwärmung der Luft verursacht eine Störung des Gleichgewichtes und infolge davon Bewegung in derselben; über erwärmten Stellen der Erde entsteht ein aufsteigender Luftstrom, der, in höheren Schichten abgekühlt, nach der Seite hin horizontal abfließt. Vor Sonnenaufgang beginnt der Luftdruck zu steigen, da aus Gegenden, welche schon zu dieser Zeit intensiv von der Sonne beschienen werden, aufgestiegene Luftmassen zufließen. Dies dauert an bis gegen 9 Uhr, um welche Zeit die Insolation anfängt so stark zu werden, dass nun an dem beschienenen Orte selbst ein aufsteigender Luftstrom entsteht der an der Grenze der Atmosphäre Luft abfließt; daher fängt von 9 Uhr ab das Barometer zu sinken an und fällt bis Abends 4 Uhr. Mit dem Abnehmen der Insolation hört allmählich auch der aufsteigende Luftstrom auf und damit das Abfließen von Luft in den oberen Sphären. Das Barometer hat jetzt sein Minimum erreicht; von da an steigt es wieder, da nun sich ein Zufluss von Luft aus wärmeren Gegenden bemerklich macht; gleichzeitig fließt aber in den unteren Luftschichten Luft nach jenen wärmeren Gegenden hin ab, da die aufgestiegene erwärmte Luft daselbst durch nachströmende Luft ersetzt werden muss. Anfänglich überwiegt noch der Zufluss oben gegenüber dem Abflusse unten, weshalb das Barometer von 4 Uhr an wieder steigt; allmählich wird jedoch der Abfluss unten stärker und der Zufluss oben schwächer, bis beide sich das Gleichgewicht halten; dann hat der Luftdruck sein zweites Maximum erreicht (9—11 Uhr) und sinkt von nun an zu seinem zweiten Minimum, das Nachts 4 Uhr eintritt, da während dieser Zeit nur Luft nach wärmeren Gegenden hin abfließt. Dieses Verhalten wird durch Tabelle XLV illustriert, welche die Dif-

ferenz der Barometerstände während der einzelnen Stunden vom Tagesmittel nach 33jährigen Beobachtungen in München<sup>1)</sup> enthält.

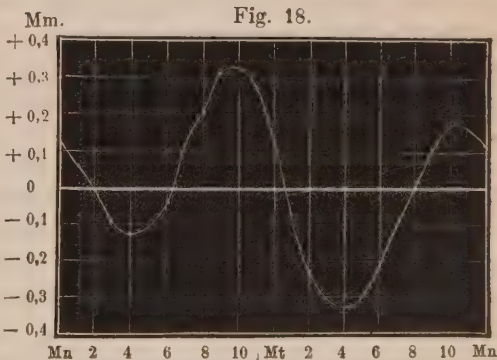
TABELLE XLV.

Differenz der Stundenmittel des Luftdruckes vom Tagesmittel.

Zeit	Mm.	Zeit	Mm.	Zeit	Mm.
Mitternacht	+ 0,13	9 Uhr	+ 0,31	6 Uhr	— 0,23
1 Uhr	+ 0,06	10 =	+ 0,33	7 =	— 0,10
2 =	— 0,00	11 =	+ 0,27	8 =	+ 0,03
3 =	— 0,08	Mittag	+ 0,12	9 =	+ 0,13
4 =	— 0,12	1 Uhr	— 0,06	10 =	+ 0,17
5 =	— 0,10	2 =	— 0,21	11 =	+ 0,17
6 =	— 0,04	3 =	— 0,29	Mitternacht	+ 0,13
7 =	+ 0,10	4 =	— 0,33		
8 =	+ 0,26	5 =	— 0,32		

In Fig. 18 ist der tägliche Gang des Luftdruckes in München nach Tab. XLV graphisch dargestellt und bedeutet die mit 0 bezeichnete horizontale Linie das Tagesmittel.

Die eben geschilderte periodische Bewegung des Luftdruckes im Verlaufe eines Tages geht jedoch nur aus zahlreichen, mindestens während eines Jahres angestellten Beobachtungen hervor, nur selten entspricht die Curve des Luftdruckes für einen einzelnen Tag der in Fig. 18 gegebenen Curve, denn gewöhnlich bewirken Störungen in der Insolation, Wolken, Winde, eine ganz unregelmässige Bewegung.



Wie schon erwähnt, spricht man auch von einer jährlichen Periode des Luftdruckes; da dieselbe ohne alle Bedeutung für die Hygiene ist, so kann darüber kurz hinweggegangen werden; es sei nur erwähnt, dass im Allgemeinen über Continenten im Sommer niedriger, im Winter hoher Luftdruck herrscht, während über den grossen Meeren der Unterschied zwischen Sommer und Winter viel geringer ist (vergl. die Lehr- und Handbücher der Meteorologie).

1) LANG l. c. S. 174.

Ausser der täglichen und jährlichen Periode des Luftdruckes lassen sich noch andere Gesetzmässigkeiten aus den Beobachtungen desselben ableiten; berechnet man aus den Tagesmitteln des Luftdruckes für jeden einzelnen Monat die monatliche Schwankung des Luftdruckes für einen Ort, indem man die Differenz des höchsten und niedrigsten Tagesmittels zieht, so ergibt sich daraus, dass die Barometerschwankungen während der kalten Jahreszeit bedeutender sind, als während der heissen. Tab. XLVI enthält 2 Belege für diese Erscheinung (Frankfurt a. M. und München). Das Mittel aus

TABELLE XLVI.

**Monatliche Schwankung des Luftdruckes nach Tagesmitteln für  
Frankfurt und München.**

	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.
Frankfurt a. M. 1)	29,55	29,33	22,56	18,73	16,92	13,08	13,99	16,47	18,73	23,01	27,07	21,65
München 2)	26,55	24,62	25,42	20,87	17,13	15,20	14,32	14,21	16,93	23,19	24,59	25,90

derartigen Reihen, wie die eben in Tab. XLVI mitgetheilten, ergibt die mittlere monatliche Amplitude des Luftdruckes für die betreffenden Orte. Stellt man eine grössere Anzahl von Orten mit Rücksicht auf diese Grösse zusammen, so findet man, dass dieselbe im Allgemeinen vom Aequator nach den Polen hin zunimmt (vergl. Tab. XLVII). Legt man den Beobachtungen der Extreme nicht Tagesmittel, sondern Einzelbeobachtungen zu Grunde, so erhält man natürlich grössere Werthe, aber noch grössere, wenn man die absoluten Extreme extrahirt. So z. B. beträgt nach den in Tabelle XLVI für München angegebenen Zahlen die mittlere monatliche Amplitude des Luftdruckes nach 54jährigen Beobachtungen 20,74 Mm.; mit anderen Worten, in München schwankt der Luftdruck im Laufe eines Monats durchschnittlich um 20,74 Mm. Im Laufe eines Jahres dagegen kommen bedeutendere Differenzen vor; die geringste während jenes 54jährigen Zeitraumes beobachtete jährliche Differenz betrug 27,2 Mm. (1832), die höchste dagegen 43,1 Mm. (1855 und 1873); im Mittel aber schwankt der Luftdruck in München im Jahre um 35,98 Mm. Der höchste während jener Periode beobachtete Barometerstand beträgt 734,5 Mm. (1879), der tiefste dagegen 687,1 Mm. (1856); somit

1) MÜLLER, Kosmische Physik, S. 621, daselbst in Pariser Linien.

2) LANG l. c. S. 172.



kommen in München im Laufe von vielen Jahren Differenzen des Luftdruckes von 47,4 Mm. vor.

TABELLE XLVII.

Mittlere monatliche Amplitude des Luftdruckes.<sup>1)</sup>

	Breite	Amplitude
		Mm.
Batavia . . . . .	6° 12' S.	2,98
Tivoli (St. Domingo) . . . . .	18° 35' N.	4,11
Havannah . . . . .	23° 9'	6,38
Calcutta . . . . .	22° 34'	8,28
Teneriffa . . . . .	28° 26'	8,48
Funchal (Madera) . . . . .	22° 37'	10,42
Cap der guten Hoffnung . . . . .	33° 55' S.	12,45
Rom . . . . .	41° 53' N.	17,15
Montpellier . . . . .	43° 36'	18,02
Mailand . . . . .	45° 28'	19,24
Wien . . . . .	48° 13'	20,53
Prag . . . . .	50° 5'	21,54
Paris . . . . .	48° 50'	23,66
Mannheim . . . . .	48° 29'	23,66
Moskau . . . . .	55° 46'	24,05
Berlin . . . . .	52° 31'	25,24
New Haven . . . . .	41° 10'	25,29
Jakutzk . . . . .	62° 2'	25,92
London . . . . .	51° 31'	27,88
Petersburg . . . . .	59° 56'	29,24
Nain (Labrador) . . . . .	57° 8'	32,35
Christiania . . . . .	59° 55'	33,05
Naes (Island) . . . . .	64° 30'	35,91

Die bisher erwähnten Gesetzmässigkeiten, welche sich aus fortgesetzten Barometerbeobachtungen ergeben, erleiden, wie erwähnt, vielfache Aenderungen. Unter diesen spielt ausser der Störung der Insolation durch Wolken, ferner der Wirkung von Winden (siehe nächstes Capitel) auch der Wasserdampf der Luft eine Rolle. Man hat längst beobachtet, dass bei Gewittern das Barometer zu fallen oder zu steigen beginnt im Momente, in welchem der Regen anfängt, (MASCART<sup>2)</sup>, ANDRÉ<sup>3)</sup>); während andere Beobachter, z. B. HANN<sup>4)</sup>, bei ausgedehnten und sehr heftigen Niederschlägen eine Beziehung zwischen diesen und dem Fallen des Barometers nicht finden konnten. Immerhin ist es denkbar, dass Aenderungen im Feuchtigkeitsgehalte der Luft auf den Barometerstand Einfluss haben können, denn die

1) MÜLLER, Kosmische Physik. S. 622.

2) Journal de physique. Bd. VIII. 1879. p. 329.

3) Comptes rendues. Bd. 92. p. 46.

4) Wiener academischer Anzeiger. 1880. S. 132.

Aufnahme von Wasserdampf muss eine Luftmasse schwerer machen, umgekehrt wird eine Luftmasse durch Entziehung ihres Wassergehaltes leichter gemacht. Es wird nun wesentlich darauf ankommen, ob der Regen in einer trockenen oder feuchten Luftsäule, die über einem Orte lagert, entsteht. Angenommen es werde in höheren Regionen durch den Wind eine Regenwolke in eine trockene Luftsäule hereingetrieben und es beginne nun zu regnen, so wird durch diesen Regen die Luft befeuchtet und damit ihr Gewicht erhöht, wodurch das Barometer zum Steigen veranlasst wird. Dringt dagegen eine Regenwolke oder überhaupt nur eine kalte Luftmasse in eine mit Wasserdampf gesättigte Luftsäule ein, so findet Regenbildung statt und die zu Boden fallenden Regentropfen, deren Temperatur wohl meist eine niedrigere ist als die der zu passirenden unteren Luftschichten, verdichten auf ihrem Wege noch mehr Wasserdampf auf ihrer Oberfläche, wodurch die Luftsäule leichter werden und das Barometer sinken muss. In anderen Fällen ist es wohl denkbar, dass die Zufuhr von Wasser durch Wolken in höheren Schichten der in den unteren Regionen erfolgenden Verdichtung von Wasser das Gleichgewicht hält; alsdann wird eben das Barometer seinen Stand behalten, den es vor dem Beginne des Regens eingenommen hatte. Veränderungen der beschriebenen Art verschwinden sehr schnell wieder, da alle im Luftmeere local entstehenden Druckdifferenzen durch die Druckverhältnisse der umgebenden Luftmassen alsbald wieder ausgeglichen werden. Immerhin sind gerade diese Luftdruckschwankungen, weil innerhalb kurzer Zeit erfolgend, von Interesse für die Hygiene, da sie geeignet sind, die Luft des Bodens zum Austritte zu bringen.

Die Vertheilung des Luftdruckes auf der Erdoberfläche kann, wie aus dem Vorausgehenden erhellt, keine gleichmässige sein, da der beständige Wechsel in der Erwärmung der Erdoberfläche, der Ursache aller Bewegungen auf derselben, auch in dem Luftmeere niemals Ruhe eintreten lässt. Gleichzeitige Beobachtungen des Barometers an möglichst vielen Punkten der Erdoberfläche gestatten eine Uebersicht über die Verhältnisse des Luftdruckes, wie sie sich über ein Land oder einen Continent, oder die ganze Erde vertheilen, welche deswegen von Wichtigkeit sind, weil auf ihnen die Voraussage des Wetters wesentlich beruht (siehe Cap. 6). Für solche Uebersichten sind jedoch die an Ort und Stelle gemachten directen Beobachtungen noch nicht genügend, da in ihnen neben dem jeweiligen Luftdrucke auch die Höhenlage des betreffenden Ortes zum Ausdrücke kommt. Dieser Faktor muss für vergleichende Uebersichten

eliminirt werden, der Barometerstand muss auf Meeresniveau reducirt werden, indem man berechnet wie gross im gegebenen Falle der Barometerstand sein würde, wenn der Ort im Niveau des Meeres läge.<sup>1)</sup> Nach Vornahme dieser Reduction auf Meeresniveau lassen sich auf Landkarten die Orte mit gleichem Luftdrucke in gleicher Weise wie auf den Isothermenkarten die Orte von gleicher Temperatur durch Linien, welche in diesem Falle Isobaren genannt werden, miteinander verbinden. Denkt man sich die gasförmige Hülle der Erde scharf abgegrenzt vom Weltenraume, so geben die Isobarenkarten ein Bild von der Oberfläche der Grenzschichte zwischen Luft und Weltraum. Diese Fläche ist niemals eben, es finden sich immer Berge und Thäler auf ihr, wie Wellen auf der Oberfläche einer Flüssigkeit, und zwischen beiden findet immer Wanderung von Luftmassen statt, um die Störung des Gleichgewichtes wieder zu beseitigen. Die Thäler werden als Luftdrucksminima oder barometrische Depressionen, die Berge als Luftdruckmaxima bezeichnet. Ihre Bedeutung für die Wettervoraussage, sowie ihre Beziehungen zu den Winden sollen in den folgenden Capiteln Erwähnung finden.

Der Druck der Luft im Niveau des Meeres, durchschnittlich 760 Mm. Quecksilber, wird als der Druck einer Atmosphäre bezeichnet. Höheren Drucken setzt sich der Mensch aus beim Eindringen in das Innere der Erde oder auf den Grund der Flüsse, des Meeres u. s. w., in letzterem Falle kommt zu dem normalen Luftdrucke noch der Druck der Wassersäule hinzu, welche über dem Taucher steht. Zum Baue von Brücken und überhaupt für submarine Arbeiten verwendet man grosse Kästen oder Glocken, welche auf den Boden des Flusses oder Meeres hinuntergelassen und dann durch Einpressen von Luft von Wasser frei erhalten werden; die Arbeiter können auf solche Weise auf dem Boden des Meeres in einem mit Luft gefüllten Raume ihre Arbeit verrichten, stehen aber daselbst unter einem Drucke von 3 bis 4 Atmosphären, je nach der Tiefe des Wassers. Noch höheren Druck aber haben die eigentlichen Taucher auszuhalten; solche dringen in Tiefen vor, in welchen auf ihnen ein Druck von 6—7 Atmosphären<sup>2)</sup> lastet. Dass solche Druckgrössen nicht ohne bedeutenden Einfluss auf den menschlichen Organismus sein können, liegt auf der Hand. Vergleiche hierüber HIRT, dieses Handbuch, II. Theil. Abth. 4. S. 83.

1) Vergleiche FLÜGGE, Lehrbuch der hygienischen Untersuchungsmethoden S. 55 und die Lehrbücher der Physik und Meteorologie.

2) PAUL BERT, La pression barometrique. p. 410.

Zum Schlusse dieses Abschnittes muss kurz darauf hingewiesen werden, was man unter dem Partiardrucke eines Gases zu verstehen habe. Unter Partiardruck versteht man den Antheil am Gesamtdrucke, welcher einem einzelnen Gase eines Gemisches von solchen gemäss seiner Menge zukommt. So sagt man, der Partiardruck des Sauerstoffes der Luft sei  $\frac{1}{5}$  Atmosphäre, da seine Menge ungefähr  $\frac{1}{5}$  der atmosphärischen Luft beträgt. Genauer ist der Partiardruck des Sauerstoffes bei normalem Barometerstande 0,209 Atmosphären, der des Stickstoffes im gleichen Falle 0,791 Atmosphären. Wird der Gesamtdruck nicht in Atmosphären angegeben, sondern in Millimetern Quecksilber, so berechnet sich auch der Partiardruck der einzelnen Gase in Millimetern Quecksilber nach der Formel:

$$\text{Partiardruck} = \frac{\text{Gesamtdruck} \times \text{Menge des Gases in Procenten}}{100}.$$

Demnach ist der Partiardruck des Sauerstoffes bei einem Barometerstande von 720 Mm.  $= \frac{20,9 \times 720}{100} = 150,48$  Mm., der des Stickstoffes im gleichen Falle  $= \frac{79,1 \times 720}{100} = 569,52$  Mm. Einer anderen Bezeichnungsweise bedient sich PAUL BERT<sup>1)</sup>; er nimmt den Gesamtdruck von 1 Atmosphäre gleich 100, dann ist der des Sauerstoffes gleich 20,9, der des Stickstoffes gleich 79,1; bei anderem Gesamtdrucke berechnet sich alsdann der Partiardruck der einzelnen Gase nach der Formel:

$$\text{Partiardruck} = \frac{\text{Menge des Gases in Procenten} \times \text{Gesamtdruck}}{760}.$$

Mithin Partiardruck oder Tension des Sauerstoffes bei 700 Mm. Barometerstand  $= \frac{20,9 \times 700}{760} = 19,2$  Mm.

### 3. Luftbewegung.

Die Erwärmung der Erde durch die Sonne ist die Ursache der Entstehung des Windes. Erwärmung der Luft bewirkt Ausdehnung derselben, welche um so bedeutender wird, wenn gleichzeitig Befuchtung der Luft durch Verdunstung von Wasser erfolgt, wie dies über den grossen Meeren der Fall ist.

Die Kugelgestalt der Erde, sowie deren Umdrehung um ihre eigene Achse bedingen eine verschiedene Erwärmung der Erdoberfläche und damit auch der Luft, verschieden sowohl nach Ort als Zeit, und dieser Wechsel verursacht beständige Störungen des Gleichgewichtes im Luftmeere. Ueber stärker erwärmten Partien der Erd-

1) La pression barometrique. p. 550.



oberfläche dehnt sich die Luft aus, welcher Vorgang nur in der Richtung nach oben vor sich gehen kann; die dadurch gebildete Erhebung über die weniger erwärmten umgebenden Luftmassen verursacht nun einen Abfluss von erwärmter Luft zur Herstellung einer ebenen Oberfläche, dadurch aber wird das Gewicht und der Druck der Luft an der erwärmten Stelle geringer, an den nicht oder weniger erwärmten Stellen dagegen grösser und ist somit eine Störung des Gleichgewichtes im Luftmeere gegeben, welche nicht bestehen bleiben kann, sondern durch Verschiebung von Luftmassen ausgeglichen werden muss. Es strömen nun aus den kälteren Gegenden Luftmassen nach den erwärmten Partien hin, und zwar in den unteren Schichten des Luftmeeres, und in entgegengesetzter Richtung<sup>1)</sup> zu den in höheren Schichten abfliessenden warmen Luftmassen. Dieser schon zur Erklärung der täglichen Periode des Luftdruckes (siehe vorausgehendes Capitel) angezogene Vorgang ist die nächste Ursache aller Windbewegung.

Die Intensität der Erwärmung der Erdoberfläche ist am grössten in den Tropen. Hier entsteht denn auch jahraus jahrein unter dem Einflusse der Erwärmung und Befeuchtung ein aufsteigender Luftstrom, dessen Geschwindigkeit allerdings so gering ist, dass sie an der Erdoberfläche dem Gefühle nicht bemerklich wird; um die ganze Erde herum läuft ein Gürtel scheinbar ruhiger Luft, die äquatoriale Calmenzone, welche sich je nach der Jahreszeit, entsprechend der intensivsten Erwärmung durch die Sonne, etwas mehr nach Norden oder Süden erstreckt. In dieser Zone steigt beständig Luft in die Höhe und fliesst nun an der oberen Grenze nach den beiden Polen hin ab. Diese Ströme polar gerichteter Winde werden als Passatwinde bezeichnet, während die auf der Erdoberfläche zu deren Ersatz nach dem Aequator hin fliessenden Ströme kalter Luft unterer Passat heissen.

Die mit dem oberen Passat abfliessenden Luftmassen werden nun auf ihrem Wege nach den Polen hin zusammengedrängt, da der Umfang der Erde vom Aequator nach den Polen beständig abnimmt. Es sinkt daher schon unter dem 30.<sup>o</sup> nördlicher Breite der grösste Theil der am Aequator aufgestiegenen Luftmassen wieder herunter

---

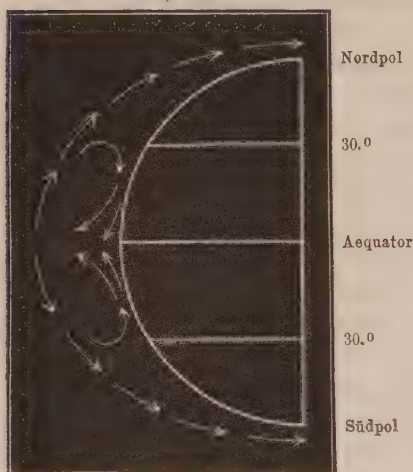
1) Die Richtung des Windes wird jetzt allgemein nach den vier Himmelsgegenden Nord, Süd, Ost und West und nach vier symmetrisch zwischen denselben gelegenen Punkten angegeben, in der Weise, dass die betreffende Bezeichnung immer die Richtung bedeutet, aus welcher der Wind kommt. Internationalem Uebereinkommen gemäss wird Nordwind mit N, Ostwind mit E (east), Südwind mit S und Westwind mit W bezeichnet. Die dazwischen liegenden Punkte bekommen demnach die Bezeichnung NE, SE, NW und SW.

und mischt sich dem unteren Passate bei. An der Stelle, an welcher der absteigende Luftstrom die Erde erreicht, findet sich wiederum eine Calmenzone, die sogenannte tropische Calmenzone, so dass sich also zwischen Aequator und  $30.0$  ein völlig geschlossener Kreislauf der Luft vorfindet, wie er auch aus Fig. 19 ersichtlich wird.

Nördlich vom  $30.0$  kann man nach HANN nur noch in den höheren Luftregionen eine constante polwärts gerichtete Strömung der Luft wahrnehmen, den Polarstrom, in den tieferen Luftschichten

wird dagegen die Windrichtung durch die verschiedene Vertheilung von Wasser und Land beeinflusst.

Fig. 19.



Die vom Aequator nach den Polen hin abfließenden Luftmassen gehen anfänglich als reiner Südwind aus. Da sie jedoch die Geschwindigkeit, welche sie in Folge der Rotation der Erde um ihre Achse besitzen, beibehalten, so können sie nicht rein polar weiter gehen, da die Geschwindigkeit der Rotation vom Aequator nach den Polen hin abnimmt. Somit eilt der Wind, welcher von irgend

einem Punkte des Aequators als reiner Südwind ausgeht, einem rein nördlich gelegenen Punkte auf einem höheren Breitengrade, den er bei Stillstand der Erde treffen müsste, voraus, und wird folglich nicht als reiner Südwind, sondern als die Resultirende von Südwind und Westwind, also als Südwest, über den Breitengrad dieses Ortes hinweggehen. Entsprechend wird auf der südlichen Halbkugel der obere Passat aus einem reinen Nord in einen Nordwest umgewandelt. Umgekehrt geht der untere Passat, welcher mit geringerer Geschwindigkeit aus nördlicheren Gegenden nach schneller rotirenden südlichen Breiten ursprünglich als reiner Nord ausgeht, allmählich in einen Nordost, auf der südlichen Halbkugel in Südost über. Die Circulation der Luft vom Aequator nach den Polen und von da zurück nach dem Aequator würde eine vollkommen regelmässige sein, wenn die Erde eine gleichmässige Oberfläche, ganz eben und nur von Wasser oder nur von Festland gebildet wäre.

Wie nun schon in dem Capitel „Temperatur der Luft“ gezeigt

wurde, ist die ungleichmässige Vertheilung von Land und Wasser die Ursache der ungleichmässigen Vertheilung der Temperatur auf der Erdoberfläche und damit auch beständiger Aenderungen im Luftdrucke. Nur in den Tropen und über den grossen Meeren (auf der südlichen Halbkugel auch noch gegen den Südpol zu) verlaufen die Isothermen ziemlich regelmässig und kann sich daher innerhalb eines breiten Gürtels um die Erde herum (bis circa zum  $30.^{\circ}$  nördl. Br.) eine regelmässige Circulation ausbilden; nördlich davon wirken die grossen Continente störend ein. Immerhin lassen sich auch hier noch Gesetzmässigkeiten auffinden, insofern als alle Windbewegungen von Gebieten höheren Luftdruckes nach Gebieten niederen Luftdruckes hin erfolgen. Kennt man die Vertheilung des Luftdruckes über einem Meere oder Continente oder einer Halbkugel, so kann man daraus auch die Windbewegung über allen einzelnen Punkten des ganzen Gebietes ableiten. Die barometrischen Minima sind das Ziel, nach welchem alle Luftbewegung hin erfolgt, doch geschieht das Einfliessen der Luftmassen nicht radiär, sondern in einer Weise, wie sie durch Fig. 20 dargestellt wird. Der Wind bewegt sich um ein barometrisches Minimum herum in einer der Bewegung des Uhrzeigers entgegengesetzten Richtung. Diese Figur ist durch die Kugelgestalt und die Umdrehung der Erde um ihre Achse bedingt. Ebenso wie der obere Passat und der untere Passat von ihrer ursprünglich rein polaren resp. äquatorialen Richtung abgelenkt werden, wird auch die Bewegung der Luft nach einer barometrischen Depression hin durch die Umdrehung der Erde in einer Weise modificirt, dass die Bewegungsrichtung nicht senkrecht auf den Isobaren steht, wie es bei Stillstand der Erde sein müsste, sondern dass eine Ablenkung vom kürzesten Wege erfolgt, auf der nördlichen Halbkugel nach rechts, auf der südlichen nach links. Stellt man sich also mit dem Rücken gegen den Wind, so befindet sich auf der nördlichen Halbkugel das barometrische Minimum links etwas nach vorn, auf der südlichen Halbkugel hätte man das Minimum zu rechter Hand und etwas nach rückwärts (BUYS BALLOT). In umgekehrtem Sinne, d. h. in der Richtung des Uhrzeigers, bewegen sich die von einem Maximum abfliessenden Luftmassen, doch tritt diese Erscheinung nicht so deutlich hervor, wie die eben beschriebene an den Minimis.

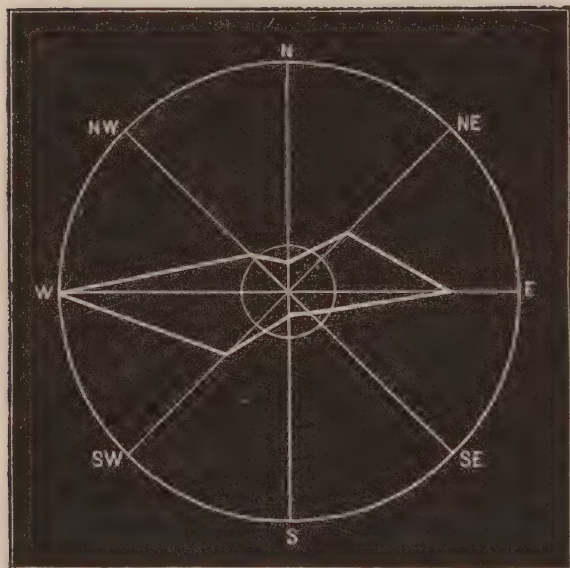
Fig. 20.





Die Windverhältnisse eines Ortes gehen, was die Richtung des Windes anlangt, aus der Häufigkeit der Beobachtungen jeder einzelnen Himmelsgegend hervor, um so genauer, je öfter im Tage beobachtet und je längere Zeit die Beobachtungen fortgesetzt werden. An Orten, an welchen registrirende Windfahnen fehlen, beschränkt man sich darauf, die jeweilig zur Zeit der Ablesung der meteorologischen Instrumente herrschende Windrichtung zu notiren; am Ende

Fig. 21.



eines Monates oder Jahres wird alsdann die Anzahl der Beobachtungen jeder Himmelsgegend zusammengesamt und aus dieser Zahlenreihe direct die vorherrschende Windrichtung entnommen. Zur Erleichterung der Uebersicht stellt man auch sogenannte Windrosen dar, indem man auf den Radien eines in acht gleiche Theile getheilten Kreises die Häufigkeit jeder Windrichtung nach irgend einem Maass-

stabe vom Centrum aus aufträgt und die dabei erhaltenen Punkte durch Linien verbindet. Die Häufigkeit der „Windstille“ wird durch einen Kreis dargestellt, dessen Radius der entsprechenden Zahl proportional ist.

In beifolgender Tabelle (S. 105) ist beispielsweise die Häufigkeit der einzelnen Windrichtungen in München nach LANG <sup>1)</sup> für jeden einzelnen Monat aus 38jährigen Beobachtungen (1843—1880) angegeben und erhellt schon daraus zur Evidenz, dass in München Ostwind und besonders Westwinde alle anderen an Häufigkeit übertreffen, noch deutlicher aber geht dies aus Fig. 21 hervor, in welcher die Windrose nach den Mittelzahlen der Tabelle construirt wurde.

1) LANG, 66 jährige Beobachtungen. S. 188.



## TABELLE XLVIII.

Vertheilung der Windrichtung nach Monaten in Procenten  
der monatlichen Beobachtungen.

Monat	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Stille
Januar . . . .	2,72	9,18	23,86	5,21	2,76	11,03	31,74	4,53	9,33
Februar . . . .	2,18	9,64	21,05	4,04	2,10	12,15	37,76	4,62	6,37
März . . . . .	2,34	10,16	22,18	3,71	1,82	10,52	37,67	7,38	3,78
April . . . . .	3,86	11,20	21,72	3,38	1,14	10,42	34,27	9,94	3,97
Mai . . . . .	4,65	16,61	21,16	2,98	0,80	9,09	29,78	10,56	4,75
Juni . . . . .	4,18	14,45	17,40	3,20	1,01	10,06	33,75	10,91	4,96
Juli . . . . .	4,44	10,86	15,53	2,44	0,81	12,34	35,99	11,42	6,54
August . . . .	4,36	10,47	17,48	3,19	1,28	12,64	34,26	9,93	6,78
September . . .	4,21	13,25	22,68	2,85	1,44	10,49	30,34	8,24	6,41
October . . . .	2,68	11,10	25,01	5,69	1,95	10,96	28,67	5,54	8,87
November . . .	1,99	10,77	22,52	6,37	3,03	11,68	30,93	4,67	7,91
December . . .	1,79	9,46	22,37	5,95	3,18	13,07	31,95	3,91	8,75
Mittel . . . .	3,28	11,42	21,08	4,08	1,78	11,20	33,09	7,64	6,54

Aus den Windverhältnissen vieler über ein Land verbreiteter Orte ergeben sich die Windverhältnisse des ganzen Gebietes und endlich die geographische Vertheilung der Winde auf der Erdoberfläche. Man hat gefunden, dass es Gebiete gibt, auf welchen jahraus jahrein die gleiche Windrichtung herrscht, in anderen Gegenden wechselt die Windrichtung mit der Jahreszeit, wieder in anderen Gegenden wechseln die Windrichtungen innerhalb geringer Intervalle (Tage, Wochen) beständig ab, jedoch so, dass doch aus der Summe der Einzelbeobachtungen irgend eine Richtung als die am häufigsten auftretende hervorgeht; dem entsprechend unterscheidet man auch constante, periodische und vorherrschende Winde. So ist München eine Stadt mit zwei vorherrschenden Winden, E und W (vergleiche die vorangehende Tabelle und Figur).

Als constanter Wind ist der Nordostpassat (unterer Passat), welcher zwischen der äquatorialen und nördlichen tropischen Calmenzone weht, zu bezeichnen und ebenso der der südlichen Halbkugel entsprechende Südostpassat. Dagegen können die Monsune als Beispiele für periodisch wehende Winde angeführt werden. Dieselben treten besonders deutlich im Süden Asiens auf. Während des Sommers bewirkt die Erwärmung des grossen asiatischen Continentes ein constantes barometrisches Minimum über demselben, zu dessen Ausgleichung vom indischen Ocean her Luft zuströmen muss; diese, mit Feuchtigkeit beladen, strömt während des ganzen Sommers aus Süd, West und Südost zu und gibt ihre Feuchtigkeit in reichlichen Regengüssen wieder ab. Indien hat von Mitte April bis Mitte October

Südwestmonsun und während der Monate Juni, Juli und August beständig Regen, während des Winters dagegen entsteht über Asien ein barometrisches Maximum, welches nun Luft zum Abfliessen nach den Seiten hin bringt, während dieser Periode weht in Indien der Wintermonsun, aus Norden und Nordost kommend, und arm an Feuchtigkeit, weshalb diese Periode auch ganz regenlos ist. In die Kategorie der periodischen Winde sind auch die Land- und Seewinde einzureihen, welche auf Inseln und an Meeresküsten, oft auf kleinen Raum beschränkt, entstehen. Sie finden ihre Erklärung in der verschiedenen Erwärmung von Wasser und Land; während des Tages entsteht über dem sich schneller und höher erwärmenden Festlande ein aufsteigender Luftstrom, der von der kälteren Oberfläche des Wassers her durch einen frischen Seewind ersetzt wird. Nach Sonnenuntergang verdichtet sich die Luft über dem schnell erkaltenden Festlande und strömt während der ganzen Nacht der Wind vom Lande nach dem Wasser hin.

Europa besitzt keine constanten und keine periodischen Winde, doch herrscht im Allgemeinen der Südwest über die anderen Winde vor. Die Windverhältnisse Europas werden durch die Luftdruckverhältnisse über dem atlantischen Ocean regulirt. Ueber Island befindet sich fast immer eine Depression, nach welcher von Süden her Luft zufliesst, welche aber in Folge der Rotation der Erde allmählich die Richtung aus Südwest einschlägt, wodurch Europa bei dem Vorherrschen dieser Windrichtung mit warmer Luft aus dem Süden versorgt wird.

Besondere Beachtung verdienen einige mehr oder weniger ausgebreitete Winde, die einen ganz specifischen Charakter besitzen insofern, als sie plötzlich einem Orte Luft von ganz anderer Qualität als vorher daselbst vorhanden war, zuführen.

Der bekannteste, weil nächstgelegene, ist der Föhn, dessen Characteristicum neben grosser Geschwindigkeit hohe Temperatur und Trockenheit der Luft ist. Er tritt zumeist im Frühjahr in den Alpenthälern, nördlich der Centralalpen auf und erhöht daselbst die Temperatur des Tages oft um  $10^{\circ}$  über das Monatsmittel. Die Luft ist so ausserordentlich arm an Wasser, dass sie fast alles hygroskopisch gebundene Wasser entzieht, weshalb während des Wehens des Föhn die Feuersgefahr sehr beträchtlich steigt; in Glarus müssen bei Eintreffen des Föhn alle Feuer gelöscht werden. Diese Trockenheit der Luft ist an der südlich der Alpen gelegenen Ursprungsstätte dem Föhn nicht eigen; als warmer, feuchter Wind aufsteigend, verliert er aber während seines Zuges über die Alpen an deren schnee-

bedeckten Häuptern seine Feuchtigkeit und kommt erst in den nördlichen Alpenthälern des Rheins, der Linth, der Reuss, der Aar und Rhone als trockner Wind an.

In Sicilien und Italien bläst zeitweilig der Sirocco, ein warmer und trockner Wind, dessen Ursprung in Afrika, der Sahara, verlegt wird. In Spanien wird derselbe als Leveche bezeichnet, er richtet daselbst oft sehr bedeutende Verheerungen an, indem er die Blätter der Pflanzen versengt und ganze Weinberge oft in wenig Stunden durch Austrocknung vernichtet.

In Madeira kennt man einen Wüstenwind unter dem Namen Leste. Aegypten besitzt den Chamsin oder Samum, auch Harmattan genannt, alle ausgezeichnet durch hohe Temperatur, Trockenheit und feinen mitgeführten Staub.

Im Gegensatze zu den eben aufgeführten Winden stehen die kalten Winde localen Charakters, die Bora in Istrien und Dalmatien, der Mistral im südlichen Frankreich und die Burane im südlichen Russland. Diese bringen kalte Luft mit grosser Geschwindigkeit und werden dadurch zu äusserst lästigen und verderblichen Ereignissen.

---

Für die Verschiedenheiten in der physikalischen Erscheinung der Luftbewegung dient in erster Linie die Geschwindigkeit des Windes, dann seine Richtung und endlich der von ihm ausgeübte Druck auf irgend eine Fläche als Ausdruck. Die Geschwindigkeit wird mit Hilfe von Anemometern genau gemessen und von diesen der Weg, welchen ein Lufttheilchen in der Secunde zurücklegt, in Metern angegeben. Die meisten Angaben über Windgeschwindigkeit sind jedoch nicht mit Hilfe dieser Instrumente, sondern mit Hilfe des subjectiven Gefühles der Beobachter gewonnen. Die Empfindungen unseres Hautorganes in bewegter Luft, unterstützt noch durch die Beobachtung des Effectes derselben auf verschiedene Gegenstände, ermöglicht in der That vollkommen verlässige Angaben nach conventionellen Windscalen <sup>1)</sup>, welche in 5, 6, 10 oder 12 Theile getheilt und von Windstille bis Orkan abgestuft sind. Im geschlossenen Raume und in solchen Fällen, in denen der Mensch sich nicht in der auf ihre Geschwindigkeit zu untersuchenden Luftmasse befindet, kann nur mit Hilfe von Anemometern ein verlässiges Resultat erhalten werden.

Die Richtung des Windes im Freien, woselbst die Bewegung der Luftmassen fast ausschliesslich in horizontaler Richtung erfolgt,

---

1) FLÜGGE, Lehrbuch der hygienischen Untersuchungsmethoden. S. 62. — JELINECK, Anleitung zur Anstellung meteorologischer Beobachtungen. S. 112.

wird nach den Himmelsrichtungen in der oben (S. 101 Anm.) angegebenen Weise bestimmt. In geschlossenen Räumen, wo es sich um die Unterscheidung oftmals mehrerer nebeneinander verlaufender Luftströme handelt, kann man die Richtung der einzelnen dadurch eruiren, dass man ihnen leichte kleine Körper zum Transporte übergibt, z. B. Rauch, Papierschnitzel, Federn u. s. w. Grössere Körper (z. B. das Fleck'sche Ballonanemoscop) sind dazu weniger geeignet, da sie Luftströme, welche in dünner Schichte an einer Wand vorüberfliessen, nicht mehr anzuzeigen vermögen.

Die Geschwindigkeit bewegter Luft wird zu einem Theile aufgehoben, wenn in der Bewegungsrichtung sich Körper entgegenstellen. Die Bewegung wird alsdann in Druck umgewandelt, welcher auf der entgegenstehenden Fläche ruht.

Die Angaben der Physiker über den Druck, welchen bewegte Luft auf senkrecht ihr entgegengestellte Flächen ausübt, schwanken ausserordentlich; so hat SOYKA <sup>1)</sup> angegeben, dass der Druck, welchen ein Wind von 3 Mt. pro Secunde Geschwindigkeit ausübt, nach verschiedenen noch Geltung besitzenden Formeln zwischen 0,59 und 2,15 Mm. Wassersäule schwankt. Relativ am verlässigsten dürfte die Formel von RECKNAGEL sein, welche lautet:

$$p = \frac{1}{2} m v^2,$$

worin  $p$  den Druck des Windes in Millimetern der gehobenen Wassersäule,  $m$  die Masse eines Cubikmeters Luft,  $= \frac{S}{g}$  also gleich dem Gewichte eines Cubikmeters Luft, dividirt durch die Beschleunigung, und  $v$  die Geschwindigkeit der Luft bedeuten. Allerdings gilt diese Formel vorbehaltlich weiterer Versuche nur für geringe Windgeschwindigkeiten und nur für den Mittelpunkt von Scheiben, nicht deren Peripherie, doch findet sie ihre Bestätigung in Versuchen des Verfassers, welche später veröffentlicht werden sollen.

Sehr verschieden ist die Wirkung des auf eine ebene Fläche auffallenden Windes, je nach dem Winkel, unter welchem er sie trifft.

Verfasser kam zu dem Resultate, dass bei senkrechtem Auffallen des Windes der Druck am grössten ist, und dass er kleiner wird, je spitzer der Winkel wird, unter dem die Luft eine Fläche trifft. Zwischen 20 und 25° erreicht der Druck alsdann sein Minimum und wird endlich negativ, so dass die Druckänderung, welche bei gleichbleibender Windgeschwindigkeit und abnehmender Neigung der Fläche zur Bewegungsrichtung sich durch eine Curve ausdrückt, wie

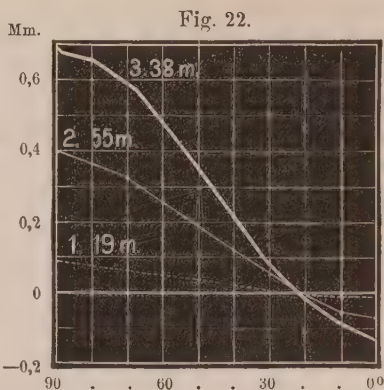
---

1) Zeitschrift für Biologie. Bd. 18. S. 169.



deren drei für verschiedene Windgeschwindigkeiten in Fig. 22 verzeichnet sind. Je grösser die Windgeschwindigkeit ist, um so grösser ist sowohl der positive als auch der negative dadurch erzeugte Druck, daher verläuft die der geringsten Windgeschwindigkeit entsprechende Curve nahezu horizontal, während die der grössten Geschwindigkeit die grösste Excursion aufweist.

Die angewandten Geschwindigkeiten waren 1,19, 2,55 und 3,38 Mt. per Secunde; die Winkel sind auf der Abscisse aufgetragen, während der Druck in Millimetern Wasserhöhe als Ordinate aufgetragen wurde (1 Mm. Wasserhöhe entspricht einem Drucke von 1 Kgr. auf eine Fläche von 1 Qmt.). Die bei normalem (senkrechtem) Auffallen des Windes erhaltenen Druckgrössen entsprechen vollkommen der Formel RECKNAGEL'S  $p = \frac{1}{2} m v^2$ .



#### 4. Niederschläge.

In dem Capitel „Feuchtigkeit der Luft“ wurde bereits darauf hingewiesen, dass, wenn die Temperatur einer mit Wasserdampf gesättigten Luft vermindert wird, das in ihr enthaltene Wasser aus der Dampfform in den tropfbar flüssigen, eventuell auch durch diesen in den festen Aggregatzustand übergeht. Auf diese Weise entstehen die mannigfachen Formen von Niederschlägen, die man je nach ihrer Erscheinung als Nebel, Wolken, Thau, Regen, Reif, Schnee, Raufrost, Glätteis u. s. w. bezeichnet.

Man glaubte bis in die neueste Zeit, dass bei dem erwähnten Vorgange die Luft ohne Weiteres in die Form kleinster Kügelchen oder Bläschen übergehe, doch scheint nach den neuesten Forschungen immer die Anwesenheit fester Körper nöthig zu sein, um den Uebergang in die flüssige Form zu ermöglichen. Es ist das Verdienst AITKEN'S <sup>1)</sup> in Edinburgh, gezeigt zu haben, dass zur Bildung eines Nebels immer Staub in der Luft vorhanden sein müsse, in staubfreier Luft ist es nicht möglich, Nebelbildung hervorzurufen. Man kann sich davon sehr leicht auf folgende Weise überzeugen: Man

1) Naturforscher. 1881. S. 69.

füllt einen Kolben von durchsichtigem Glase, der etwa 2—3 Liter fasst, mit Wasser bis zum Rande und giesst dasselbe alsdann wieder weg, um den Kolben so mit Luft zu füllen; das an den Glaswänden zurückbleibende Wasser genügt, um innerhalb weniger Secunden die im Kolben enthaltene Luft zu sättigen. Kühlt man nun die Luft im Kolben rasch ab, was am einfachsten dadurch geschehen kann, dass man den Kolben mittelst eines durchbohrten Pfropfens fest verschliesst und an einem in der Durchbohrung angebrachten Glasrohre mit dem Munde saugt, so sieht man in dem Kolben einen Nebel entstehen, der schon bei gewöhnlicher Tagesbeleuchtung sichtbar ist, aber noch viel deutlicher wird, wenn man durch den Kolben hindurch im verfinsterten Zimmer einen Lichtstrahl fallen lässt. Stellt man nun den Versuch so an, dass man auf den Kolben, der wieder bis zum Rande mit Wasser gefüllt wird, einen doppelt durchbohrten Pfropfen aufsetzt, dessen eine Bohrung einen Heber trägt, während durch die andere ein mit Watte dicht gepropft Glasrohr hindurchgeht, und lässt man nun durch Heberthätigkeit das Wasser aus dem Kolben ausfliessen, so entsteht nach Ablauf des Wassers beim Saugen an dem Heber, wobei das Wattefilter gut verschlossen werden muss, kein Nebel, das Wasser schlägt sich eben nur an den Wandungen des Gefässes nieder, nicht in der Luft. Das Experiment kann auf verschiedene Weise variirt werden, ergibt aber immer wieder die gleiche Thatsache. Es braucht auch gar nicht Wunder zu nehmen, wenn behauptet wird, auch in der freien Natur kämen Wolken und Nebel nur auf solche Weise zu Stande, denn man kann mit Hilfe des ersten eben beschriebenen Experimentes jederzeit, auch während intensivster Platzregen, denen man, und gewiss mit Recht, eine reinigende Wirkung in Bezug auf den Gehalt der Luft an Staub zuschreibt, nachweisen, dass immer noch genügende Mengen davon in der Luft zurückbleiben, um als Substrat für Nebelbildung dienen zu können.

Thau und Reif sind Niederschläge des Wasserdampfes der Luft an kalten Körpern; sie entstehen ohne dass in der Luft Nebelbildung vorherginge, indem die durch Ausstrahlung stark erkalteten Gegenstände auf dem Erdboden, hauptsächlich Pflanzen, die ihnen unmittelbar anliegenden Luftschichten so stark abkühlen, dass deren Wasser in Form feiner Tröpfchen Thau sich an ihnen ansetzen; geht die Abkühlung noch weiter, so gefriert der gebildete Thau zu Reif. Von grossem Einflusse auf das Auftreten von Thau ist die Klarheit des Himmels. Je weniger derselbe bedeckt ist, um so energischer strahlen die Dinge an der Erdoberfläche die während des

Tages aufgenommene Wärme nach dem kalten Weltraume hin, um so tiefer sinkt ihre Temperatur und um so reichlicher findet Thaubildung statt. Alles was die Ausstrahlung verhindert, wirkt der Bildung von Thau und Reif entgegen und so genügt es auch, um Pflanzen vor dem Erfrieren und dem Einflusse des Reifes zu schützen, nur über ihnen ein Tuch oder irgend einen Schirm zu spannen, welcher alle directe Strahlung nach dem Himmel verhindert. Felder kann man sogar dadurch vor Reif schützen, dass man an günstiger Stelle Feuer anzündet, deren Rauch sich über die ganze Fläche verbreitet; der erzielte Effect ist in diesem Falle nicht etwa auf die entwickelte Wärme, sondern auf die die Ausstrahlung verhindernde Rauchdecke zurückzuführen.

Rauh frost ist der bekannte weisse krystallinische Ueberzug, welcher auf stark erkalteten Gegenständen, Bäumen u. s. w. nach länger andauernder Kälte entsteht, wenn plötzlich feuchte Luft kommt; es erfolgt alsdann Niederschlag erst in Gestalt von Nebel, dessen Tröpfchen sich an die erkalteten Gegenstände ansetzen. Es hängt nun davon ab, ob im Momente des Auffallens sofort Gefrieren erfolgt oder ob das Tröpfchen Zeit findet, sich erst noch auf der Oberfläche in dünner Schichte auszubreiten; im ersteren Falle entsteht Rauh frost, im letzteren Glatteis auf dem Erdboden oder Eisanhang an Bäumen u. s. f. Zur Erklärung des Rauh frostes wird von JAMIN<sup>1)</sup> die Thatsache der Surfusion des Wassers, d. h. des Erkaltens in flüssiger Form unter dem Gefrierpunkte des Wassers, angeführt. BREITENLOHNER (l. c.) ist dagegen der Ansicht, die Eisnadeln seien schon in der Luft vorhanden und setzten sich, den Krystallisationsgesetzen (?) folgend, zu Stengelchen mit Fiederchen zusammen. Es ist jedoch nicht recht einzusehen, wie schon gebildete Eisnadeln, welche in der Luft herumfliegen, noch besonderen Krystallisationsgesetzen folgen sollen; mit dem Momente des Erstarrens hören alle Krystallisationsgesetze auf; es dürfte daher der ersteren Ansicht der Vorrang gebühren.

Nebel ist in der Nähe der Erdoberfläche entstehender Niederschlag, bestehend aus feinsten Wassertröpfchen, welche die Luft getrübt erscheinen lassen. Man nimmt zwei Entstehungsarten an; erstlich entsteht Nebel über Wasserflächen, in Moosen, Sümpfen, wenn die Luft über ihnen kälter als der Boden wird; die aus ihm aufsteigenden Wasserdämpfe werden alsdann condensirt und bilden Nebel

---

1) BREITENLOHNER, Der Eis- und Duftanhang im Wiener Wald. WOLLNY, Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. Bd. 2. S. 497.

oft von ganz geringer Höhe. Im anderen Falle weht warme feuchte Luft über erkaltete Landstrecken, kühlt sich an diesen ab und bildet endlich, wenn sie unter ihren Thaupunkt abgekühlt wird, Nebel.

Nebel, welche in einiger Entfernung von der Erdoberfläche beobachtet werden, nennt man Wolken, sie werden gewöhnlich nach ihrer Form eingetheilt und unterscheidet man darnach folgende Typen<sup>1)</sup>: Cirrus oder Federwölkchen, dünne, zierlich gestaltete, kleine Wolkenformen, oft in langen Reihen angeordnet; sie schweben in Höhen von mehr als 8500 Mt. und sind die höchsten vorkommenden Wolken, und bestehen, da in jenen Höhen die Temperatur unter dem Gefrierpunkte des Wassers liegt, aus zarten Eisnadeln. Cirrostratus bedeckt den Himmel wie ein zarter durchsichtiger Schleier und gibt Veranlassung zu Ringen um Sonne und Mond, Nebensonnen, Nebenmonden u. s. w. Unter Cirrocumulus versteht man die Schäfchenwolken, kleine abgerundete, oft in Reihen geordnete leichte Wölkchen. Der Cumulus oder die Haufenwolke entsteht im aufsteigenden feuchten Luftstrome, wenn derselbe abgekühlt wird, was meist schon in tieferen Schichten der Atmosphäre sich ereignet. Sie erhebt sich auf dunkler horizontaler Grundfläche mit weissen gewölbten, kugelförmigen, hellglänzenden Gipfeln. Langgestreckte niedrige Wolken werden als Stratus, Schichtenwolke bezeichnet. Cumulostratus ist die gewöhnlichste Wolkenform der unteren Luftschichten; die Formen sind unregelmässig und zerrissen oder bedecken bei trübem Wetter den ganzen Himmel. Wolken endlich, welche Regen geben, nennt man Nimbus oder Regenwolken. Alle diese Wolkenformen erleiden so mannigfache Veränderungen, dass es oftmals schwierig ist zu entscheiden, welche Wolkenform eben der Beobachtung unterliegt.

Der Grad oder die Grösse der Bewölkung des Himmels ist insofern von Wichtigkeit, als durch die Bewölkung die Wärmeverhältnisse auf der Erde mancherlei Modificationen erleiden. Einerseits wird bei Tage durch das Vorhandensein von Wolken die Insolation gestört, bei bedecktem Himmel entstehen niemals so hohe Temperaturgrade als bei unbedecktem Himmel zur gleichen Jahreszeit. Andererseits aber verhindern Wolkenschichten, wie schon oben erwähnt, die Ausstrahlung von Wärme während der Nacht und damit das Zustandekommen von Thau und Reif. Es ist daher die Bestimmung des Grades der Bewölkung nicht ohne Interesse für die Hygiene, man führt dieselbe aus, indem man schätzt, wie viele Zehntel

---

1) MOHN, Grundzüge der Meteorologie. S. 183.



des von einem Aussichtspunkte sichtbaren Himmelsgewölbes mit Wolken bedeckt sind; demnach entspricht eine Bewölkung = 0 einem wolkenfreien, eine solche von 10 einem völlig bedeckten Himmel.

Aus den Wolken, welche an und für sich schon als atmosphärische Niederschläge zu betrachten sind, kommen noch verschiedene Arten von Niederschlägen auf die Erdoberfläche, welche als Regen, Schnee, Graupeln, Hagel bezeichnet werden. Die Condensation von Wasser, welche erst in Form kleinster unsichtbarer Tröpfchen erfolgt, führt bei weiterem Fortschreiten endlich durch Vergrößerung jener zur Bildung von Wassertropfen, welche nicht mehr in der Luft schwebend erhalten werden, sondern als Regen zu Boden fallen. Kommen sie aus bedeutenden Höhen mit niedriger Temperatur, so condensiren sie in den unteren mit Feuchtigkeit gesättigten Schichten der Luft Wasser auf ihrer Oberfläche und werden dadurch grösser. Ist die Temperatur, in welcher die Condensation erfolgt, unter dem Gefrierpunkte des Wassers, so entsteht Schnee oder Graupeln oder Hagel. Letzterer, der nur während der heissen Jahreszeit zur Beobachtung kommt, verdankt seine Entstehung einer sehr intensiven Condensation von Wasser beim Eindringen warmer und mit Feuchtigkeit beladener Luftströme in kalte Regionen, wobei heftige Windbewegung entsteht, welche die gebildeten Eiskrystalle nicht sofort zu Boden fallen lässt, sondern erst noch umherwirbelt, wodurch sie sich mit mehr oder weniger concentrischen Eisschichten überziehen, bis endlich ihr Gewicht sie nach der Erde hinführt.

Die Verhältnisse des Regenfalles, Schneefall mit inbegriffen, ergeben sich für einen Ort auf der Erdoberfläche oder für ein grösseres Gebiet aus der Beobachtung der Regenhöhe und der Häufigkeit. Erstere wird mit Hilfe der Regenmesser festgestellt und in Millimetern ausgedrückt, welche die Höhe der innerhalb einer gewissen Zeit (Stunde, Tag, Jahr) gefallenen Wasserschichte einnehmen würde, wenn nicht Verdunstung und Durchlässigkeit des Bodens deren Ansammlung auf der Erde verhinderte. Die Regenhäufigkeit dagegen findet ihren Ausdruck in der Zahl der Tage, an welchen Niederschläge erfolgten.

Die geographische Verbreitung des Regens auf der Erde verhält sich im grossen Ganzen folgendermaassen<sup>1)</sup>: Die bedeutendsten Regenmengen fallen in der heissen Zone, von hier nimmt ihre Intensität nach den Polen hin ab. So z. B. fallen in den Tropen<sup>2)</sup>:

1) Nach KLEIN, Allgemeine Witterungskunde. S. 126.

2) MOHN, Grundzüge der Meteorologie. S. 190 u. 193.

in Sierra Leona (afrikanische Westküste) . .	4800 Mm.
„ Maranhao (Brasilien) . . . . .	7100 „
„ Vera Cruz (Mexico) . . . . .	4650 „
„ Ostindien . . . . .	4500—6500 „
„ Cherrapoonjee (Ostindien) . . . . .	12520 „

im Jahre. Dagegen beträgt die grösste Regenhöhe in Norwegen nur 1900 Mm. im Jahre; sie schwankt daselbst an der Meeresküste zwischen 1000 und 1900 Mm., sinkt aber im Innern des Landes auf 684 Mm. in Christiania, 445 Mm. in Elverum und 363 Mm. auf dem Dovre. Upsala hat 400, Stockholm 420, Petersburg 450 Mm. Regenhöhe.

Die Region der Calmen ist ein wahrer Regengürtel um die Erde. Der innerhalb derselben aufsteigende warme feuchte Luftstrom wird in höheren Regionen abgekühlt und gibt seine Feuchtigkeit in ungeheuren Regengüssen, von Donnerwettern begleitet, ab. Da diese Region mit dem Stande der Sonne wandelt, so ergeben sich für Orte, welche nahe dem Aequator liegen, entsprechend der Zweitheilung der Jahreszeit daselbst (vergl. Capitel „Wärme“) zwei Regenzeiten, die mit dem höchsten Stande der Sonne zusammenfallen. An nördlicher gelegenen Punkten rücken die beiden Regenzeiten wie die heissen Jahreszeiten zusammen bis sie in eine einzige verschmelzen. Nördlich und südlich der Calmenzone liegen die regenlosen Zonen der Passatwinde. Diese, aus kälteren Zonen kommend, sind trockne Winde, sie erwärmen sich bei ihrem Vordringen nach wärmeren Gegenden und können daher immer mehr Wasser noch aufnehmen, so dass sie also keine Veranlassung zu Niederschlägen geben.

Vom 40.<sup>o</sup> nördl. Breite ab fällt der Regen vertheilt über das ganze Jahr. In den südlichsten Theilen Europas, Südspanien, Südportugal, Sicilien und Calabrien fallen die intensivsten Regengüsse in die Wintermonate, weiter nördlich dagegen in die Herbst- und Frühlingsmonate; hier sind somit zwei Jahreszeiten, ein trockner Sommer und ein nasser Winter, deutlich zu unterscheiden. Weiter nördlich ist kein Tag des Jahres vor Niederschlägen gesichert. Im mittleren und östlichen Europa tritt das Maximum der Regen im Sommer ein, im Westen, an der Küste und auf den Inseln im Herbst. Das Sommermaximum findet seine Erklärung darin, dass der feuchte Passat im Laufe des Sommers in Mitteleuropa niederfällt, während er im Winter nur Südeuropa erreicht. Dieses hat von Juni bis August unteren Passatwind und trockne Witterung, so dass beispielsweise in Palermo, wie DOVE angibt, während eines Zeitraumes von 48 Jahren 24 Jahre vorkamen, welche einen vollkommen regenlosen Juli hatten.

In Norditalien halten sich Frühlings- und Herbstmaximum ziemlich das Gleichgewicht, im südlichen Frankreich wird das erstere schwächer und verschwindet ganz in der Bretagne, diese hat, wie England und Wales, ein ausgeprägtes Herbstmaximum. Irland und Schottland haben Wintermaxima, Norwegen ein Herbstmaximum; die deutsche und holländische Seeküste zeigen bald Winter-, bald Herbstmaximum. Schweden, Deutschland, Ungarn, Russland weisen dagegen deutliche Sommermaxima auf.

Im Allgemeinen bringen Südwestwinde Regen, da sie vom Meere herkommen, deswegen sind auch die westlichen und südlichen Küsten Europas regenreicher als die Binnenländer; Westengland empfängt mehr Regen als Ostengland, Norwegen mehr als Schweden.

Von grossem Einflusse auf die Regenmenge erweisen sich Gebirge; an ihnen werden die höchsten Regenmengen beobachtet. So hat:

Portree (Insel Skye) . . . .	2578 Mm. Regenhöhe <sup>1)</sup>
Seathwaite (Schottland) . . .	3867 " "
Stye Pass (ebenda) . . . .	4182 " "
Glencroc . . . . .	3264 " "

Es schliessen sich diesen an die venezianischen und lombardischen Alpen und zwar

Tolmezzo . . . . .	mit 2436 Mm. Regenhöhe
St. Maria . . . . .	" 2483 " "

alsdann

der Böhmerwald spec. Stubenbach mit 2198 Mm. Regenhöhe	
Savoyen: Ragusa . . . .	" 1669 " "
Chambery . . . .	" 1650 " "
Wasgau: Rothlach . . . .	" 1540 " "
Kaukasien: Kutais . . . .	" 1496 " "
Pyrenäen: Bagnères . . . .	" 1490 " "
Schwarzwald: Baden . . . .	" 1444 " "
Harz: Klausthal . . . .	" 1427 " "

Weniger regnerisch erweisen sich Hochebenen. So hat

Stavelot in der Eifel . . . . .	936 Mm. Regenhöhe
Arnsberg im Sauerland . . . . .	932 " "
Isny auf der schwäbisch-bayerischen	
Hochebene . . . . .	1391 " "
Seeshaupt ebenda . . . . .	1050 " "

Der Einfluss der Erhebung über Meeresniveau geht ferner sehr deutlich aus folgender Zusammenstellung hervor <sup>2)</sup>:

Seehöhe . . . . Mt.	100-200	200-300	300-400	400-500	500-700	700-1000	1000-1200
Zahl d. Stationen	36	30	19	13	10	12	2
Mittl. Regenhöhe Mm.	583	650	690	782	852	995	1308

1) KLEIN, Allgemeine Witterungskunde. S. 136.

2) KLEIN, Allgemeine Witterungskunde. S. 139.

Deutschland hat nach VAN BEBBER <sup>1)</sup> im Durchschnitte 710 Mm. Regenhöhe, das norddeutsche Tiefland 613 Mm., die mitteldeutschen Berglandschaften 690 Mm., das süddeutsche Bergland 825 Mm. Die geringsten Regenmengen wurden an folgenden Orten beobachtet <sup>2)</sup>:

In der östlichen Tiefebene von Deutschland:

Breslau . . . . .	400 Mm. Regenhöhe
Poel . . . . .	414 „ „
Rostock . . . . .	433 „ „
Prenzlau . . . . .	417 „ „
Sagan . . . . .	428 „ „
Marienwerder . . . . .	364 „ „
Polnisch Wartenberg . . .	302 „ „

ferner im Oberrheingebiet

Dürkheim . . . . .	403 Mm. Regenhöhe
--------------------	-------------------

auf der Donauhochebene

Sigmaringen . . . . .	374 Mm. Regenhöhe
-----------------------	-------------------

endlich im schwäbisch-fränkischen Stufenlande

Würzburg . . . . .	401 Mm. Regenhöhe.
--------------------	--------------------

Die Häufigkeit des Regens, ausgedrückt durch die Anzahl der Tage, an welchen Regen (oder Schnee) fällt, erscheint von ganz untergeordnetem Interesse für die Hygiene, da es nur in den seltensten Fällen angeht, alle Regentage als gleichwerthig zu nehmen. Ein Regentag, an dem innerhalb kurzer Zeit einige Zehntel eines Millimeters Regen fallen, kann unmöglich einem Regentage mit 20 und mehr Millimetern Regen, die sich über den ganzen Tag vertheilen, seiner Bedeutung nach gleichkommen. Ueberdies ist auch die Zählung der Regentage eine Methode neueren Datums, so dass, obwohl sie von den Meteorologen allgemein aufgenommen wurde, noch keine für die Hygiene brauchbaren Resultate allgemeiner Natur vorhanden sein können.

## 5. Staubgehalt der Luft.

In der Luft finden sich allüberall und zu allen Zeiten feine Partikelchen fester Körper suspendirt, deren Bedeutung für die menschliche Gesundheit je nach ihrer Natur und Provenienz sehr verschieden ist. Diese Partikelchen sind unter Umständen dem blossen Auge sichtbar, wenn sie eine bestimmte Grösse besitzen oder so massenhaft vorhanden sind, dass sie als Trübung der Luft oder als Wölk-

1) VAN BEBBER, Regentafeln von Deutschland. Kaiserslautern 1876.

2) ANDREE und PESCHEL, Physikal. statist. Atlas des deutschen Reiches. S. 11.



chen erscheinen. Doch lassen sich auch, wenn unter gewöhnlichen Verhältnissen die Luft vollkommen rein erscheint, immer noch Staubpartikelchen, oft in grosser Menge, nachweisen. So zeigte TYNDALL <sup>1)</sup> mit Hilfe eines Bündels Sonnenstrahlen oder eines Büschels des electrischen Lichtes, welchen er in einen verfinsterten Raum einfallen liess, dass die Luft dieses Raumes grosse Mengen von Staubpartikelchen erhielt, welche bei gewöhnlicher Beleuchtung nicht zu sehen waren, auf diese Weise aber deutlich differenziert erschienen. Ungleich feiner ist die vom Verfasser nach den im vorausgehenden Abschnitte beschriebenen Experimente ATKIN's angegebene Methode <sup>2)</sup>, welche auch in jenen Fällen, in welchen der einfache Sonnenstrahl keine Spur von Staub erkennen lässt, noch grosse Mengen davon nachzuweisen im Stande ist; sie basirt auf der Thatsache, dass Wasserdampf aus gesättigter Luft sich nur auf festen Körpern niederschlägt und dieselben gewissermaassen als Wassermantel überzieht; dadurch werden feinste Körperchen vergrössert und bei Beleuchtung durch einen Sonnenstrahl im finsternen Zimmer deutlich sichtbar.

Auf diese Weise liess sich z. B. deutlich Staub nachweisen in der von einem intensiven und lange andauernden Regengusse gewaschenen atmosphärischen Luft, welche man als staubfrei anzunehmen gewöhnlich geneigt ist; ebenso in der Luft geschlossener Räume und sogar in der Luft, welche unter Beobachtung aller Cautelen aus dem Münchner Geröllboden aspirirt worden war.

Auch NÄGELI <sup>3)</sup> gruppirt die in der Luft befindlichen staubförmigen Körperchen nach ihrer Grösse in drei Gruppen:

1. Sichtbare (gröbere) Stäubchen, die man mit blossem Auge einzeln bei jeder Beleuchtung sieht; sie werden durch Winde von der Strasse oder durch den Kehrbesen vom Zimmerboden aufgewirbelt und fallen im Allgemeinen bei einigermaassen ruhiger Luft sehr bald nieder.

2. Sonnenstäubchen, die man nur, wenn sie von einem Sonnenstrahle beleuchtet sind und sich auf einem matten Hintergrunde abheben, deutlich sieht; auch in der scheinbar ruhigen Luft eines geschlossenen Zimmers sinken die meisten nicht zu Boden.

3. Unsichtbare Stäubchen, die man auch in dem durch eine Ritze in ein dunkles Zimmer einfallenden Sonnenstrahle nicht

1) The Medical Times and Gazette. 1870. Vol. I. p. 130.

2) Tageblatt der 54. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte in Salzburg. S. 194.

3) Sitzungsberichte der mathematisch-physikalischen Klasse der kgl. bayer. Academie der Wissenschaften. Sitzung vom 7. Juni 1879.

sieht. Sie werden in ihrer Mehrzahl selbst von den schwächsten Luftströmungen und in der ruhigsten, uns in grösseren Räumen bekannten Luft, schwebend erhalten; hierher gehören z. B. alle Spaltpilze, ebenso die den Rauch zusammensetzenden Körperchen, ferner die Bläschen des ziemlich trocknen Nebels (Moorrauch?).

Auch die der dritten Gruppe angehörigen Staubpartikel lassen sich mit der obenerwähnten Methode des Verfassers noch deutlich dem Auge sichtbar machen.

Die Frage nach dem Ursprunge des Luftstaubes beantwortete sich vor der Erfindung des Mikroskopes sehr einfach; da man bis dahin keine Möglichkeit besass, aus der Form und Structur der Staubtheilchen auf deren Provenienz Rückschlüsse zu machen, so war es das Nächstliegende, den Staub als das Product einiger tagtäglich zu beobachtender Vorgänge (Verbrennung mit Rauchbildung und Verwitterung der Gesteine) zu betrachten. Erst mit den 1828 begonnenen Untersuchungen EHRENBERG's<sup>1)</sup> eröffnete sich ein ganz neues Arbeitsgebiet, welches bis in die neueste Zeit eine grosse Anzahl hervorragender Forscher beschäftigte und eine Reihe von wichtigsten Entdeckungen veranlasste. Es lassen sich auf Grund der hierbei zu Tage geförderten Kenntnisse folgende Hauptquellen des atmosphärischen Staubes aufstellen:

Die weitaus überwiegende Menge alles Staubes, welchen man in der Luft bis jetzt aufgefunden hat, verdankt ihre Entstehung mechanischen oder chemischen Vorgängen auf der Erdoberfläche.

Nur ein verschwindend kleiner Theil wird von einigen neueren Forschern als kosmischer Staub, d. h. ausserhalb der Erde und ihrer Luft-hülle existirend, betrachtet, da die Anwesenheit von kleinen Eisenmolekülen, welche in einigen Fällen mittelst eines Magnetes aus dem übrigen Staube ausgezogen werden konnte, durch keinen auf der Erde bekannten Vorgang irgend welcher Art erklärbar erschien. Solcher eisenhaltiger Staub wurde beobachtet von NORDENSKJÖLD<sup>2)</sup> auf Eis- und Schneefeldern von Skandinavien und Grönland, fern von bewohnten Gegenden, von SILVESTRI<sup>3)</sup> in Catania auf Sicilien, von TISSANDIER<sup>4)</sup> in Paris und von SCHUSTER<sup>5)</sup> in der Nähe der grossen Pyramiden. Jedoch wird in neuerer Zeit durch FLÖGEL<sup>6)</sup>, LASAULX<sup>7)</sup>, ASSMAN<sup>8)</sup> u. A. die Berechtigung zu

1) Abhandlungen der kgl. Academie der Wissensch. Berlin 1871.

2) Naturforscher. Bd. 6. S. 371. Bd. 7. S. 151.

3) Ibid. Bd. 13. S. 385.

4) Ibid. Bd. 9. S. 10.

5) Ibid. Bd. 15. S. 413.

6) Zeitschrift der österr. Gesellschaft für Meteorologie. 1881.

7) Naturforscher. Bd. 14. S. 225.

8) Tageblatt der 55. Naturforscherversammlung in Eisenach. 1882.

einer derartigen Annahme in Frage gestellt, nachdem man einerseits die Entstehung feinen Eisenstaubes auf der Erde nicht absolut auszuschliessen vermag und andererseits die Anwesenheit anderer Stoffe, z. B. von Nickel, welche noch mehr für den meteorischen Charakter sprechen würden als das Eisen, noch nicht nachgewiesen werden konnte. Uebrigens besitzt die noch unentschiedene Frage wegen der Geringfügigkeit und Seltenheit des Objectes nur ein allgemein naturwissenschaftliches Interesse, weshalb an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen werden soll.

Staub entsteht auf der Erde zunächst durch die Verwitterung der Gesteine; dieselbe ist die Folge der Wirkung sowohl von Temperaturschwankungen, als auch des Wassers; in letzterer Beziehung lässt sich wieder eine rein mechanische Thätigkeit des fallenden Regens oder fliessender Wässer, sowie die Wirkung des in die Poren der Gesteine eingedrungenen und dort gefrierenden Wassers von einer mehr chemischen auflösenden Einwirkung scheiden, welche letztere Bindesubstanzen löst und die gelockerten Gesteinsmoleküle getrennt zurücklässt. Die Verwitterung der Erdoberfläche wird aber auch wesentlich durch Vegetation und die verschiedenen Thätigkeiten der Bewohner unterstützt (vergl. den Abschnitt „Boden“). Eine der bekanntesten hierher gehörigen Erscheinungen ist die des Passatstaubes, welcher an der Westküste des tropischen Afrika beobachtet wird und manchmal sich über eine Fläche von 100000 Quadratmeilen erstreckt; es handelt sich hierbei hauptsächlich um Wüstensand aus der westlichen Sahara, welcher durch den Passatwind in die Höhe getragen und weithin verbreitet wird. Auch der Calina in Terral (Spanien), der Caligine in Italien, der Harmattan in Westafrika und andere spezifische Winde führen meist Staub aus entfernten Gegenden mit sich.

Anschliessend an diesen auf der Erdoberfläche entstandenen Staub muss hier des aus dem Erdinneren stammenden vulkanischen Staubes Erwähnung geschehen; derselbe ist nicht als Rückstand verbrennlicher Stoffe zu betrachten (weshalb auch die gebräuchliche Bezeichnung „Asche“ nicht vollkommen zutreffend ist), sondern als Lava, welche im flüssigen Zustande durch heftige Gasentwicklung zerstäubt wird. Dieser vulkanische Staub macht sich nicht nur bei grossen Eruptionen in der nächsten Umgebung der Vulkane bemerklich (Herculanum und Pompeji seien nur als die bekanntesten Beispiele hier erwähnt), sondern er wurde auch häufig schon in grossen Entfernungen von jenen aufgefunden und durch chemische Hilfsmittel und mittelst des Mikroskopes als solcher erkannt. PFAFF<sup>1)</sup> gibt eine

1) PFAFF, Die vulkanischen Erscheinungen. Naturkräfte. München, bei Oldenbourg. Bd. 7. S. 105.

Zusammenstellung derartiger Vorkommnisse, woraus nur hervorgehoben sei, dass man Asche von feuerspeienden Bergen in Entfernungen von 170 und 240 geogr. Meilen beobachtet hat.

Eine besonders ergiebige Quelle für den Staub ist die Verbrennung organischer oder auch mineralischer Substanzen, deren Producte, wenn sie dem Auge sichtbar sind, als Rauch bezeichnet werden. Die überaus grosse Mehrzahl von Verbrennungsvorgängen auf der Erde ist unter die unvollkommenen Verbrennungen zu rechnen, d. h. es entstehen hierbei nicht allein die gasförmigen Endproducte Kohlensäure und Wasserdampf, sondern es werden auch unverbrannte Partikelchen der Brennmaterialien, Destillationsproducte, Theerbestandtheile und Aschepartikelchen der Luft zugeführt.

Die Feuerungsanlagen zur Beheizung der Wohnräume, zum Betriebe von Dampfmaschinen und sonstigen industriellen Einrichtungen, liefern kolossale Mengen Rauch, welche besonders in industriereichen Gegenden eine erhebliche Belästigung verursachen können. Das eclatanteste Beispiel für diese Art von Luftverunreinigung geben die vielbesprochenen Londoner Nebel (auch in anderen englischen Städten beobachtet), eine Combination von Rauch und wirklichem Nebel von gelblicher Farbe und einer Mächtigkeit, dass zeitweise der Tag zur Nacht verwandelt wird.

Als eine besondere Art von Rauch ist der Moorrauch zu bezeichnen, welcher nur im Frühjahr und nur im nordwestlichen Theile von Mitteleuropa zur Beobachtung gelangt. Er entstammt einem an sich verwerflichen Culturverfahren, welches jedoch allein den Bewohnern der Hochmoore in Ostfriesland, zum Theile auch in Holland, die Möglichkeit bietet, aus dem durch Verbrennen des Torfes vorbereiteten Erdboden spärlich Getreide, Buchweizen, Hafer und Roggen zu erzielen. Dieses Verbrennen wird in den Monaten April und Mai vorgenommen und erfüllt die Luft mit höchst lästigem Rauche, welcher die Sonne verfinstert und nach den Erfahrungen der Landwirthe auf die Vegetation der angrenzenden Landstriche verderblich einwirkt, ganz abgesehen davon, dass er gerade während des Erwachens der Vegetation die von der Sonne ausgestrahlte Wärme abhält und auch den Menschen die Freude an der wiedererwachenden Natur vergällt, indem er sich wie ein dichter Schleier über weite Gebiete ausdehnt. Je nach der Beschaffenheit der Witterung, d. h. nach herrschender Windrichtung und Menge der Niederschläge, werden in verschiedenen Jahren verschieden grosse Flächen vom Moorrauche bedeckt; fast immer werden die Provinzen Westfalen, Hannover, Hessen, Sachsen, Schleswig-Holstein, Braunschweig, Oldenburg, An-



halt, Thüringen heimgesucht, doch erstreckt er sich auch unter Umständen bis in das südliche Deutschland, Baden, Württemberg, Bayern, Böhmen, Russland (10.—19. Mai 1857).<sup>1)</sup> Ausser Friesland wird auch noch in Livland, Finnland und einem grossen Theile von Russland eine ähnliche Culturmethode angewandt, wobei Stoppelfelder und niedriges Strauchwerk verbrannt und so ein intensiver Rauch erzeugt wird. Zeitenweise können auch grosse Waldbrände weitverbreitete Trübungen der Luft verursachen, so bedeckte im Herbst 1829 ein trüber, durch Waldbrände verursachter Nebel ganz Nordamerika; der Regen, welcher damals fiel, war schwarz wie Tinte.<sup>2)</sup> Moorrauch, Höhenrauch, Haarrauch, Heerrrauch, Landrauch und Sonnenrauch sind nur Synonyme ein und derselben Erscheinung.

Unter die Quellen des Luftstaubes muss auch die Fortpflanzungsthätigkeit der Pflanzen gezählt werden. Der Blütenstaub, d. h. die Pollenkörner der Phanerogamen, wird durch den Wind oft in grossen Mengen auf weite Entfernungen transportirt. So ist unter dem Namen „Schwefelregen“ ein Staubfall bekannt, der, aus dem Blütenstaube von Nadelhölzern bestehend, in Städten beobachtet wurde, welche meilenweit von Wäldern entfernt waren.<sup>3)</sup> Bei allen Staubuntersuchungen fast begegnet man Pollenkörnern der verschiedensten Form und Grösse. Aber auch die Sporen der Kryptogamen und die Keime der niedersten Lebewesen, der Infusorien und niederen Pilze finden ihre Verbreitung durch die Luft, worauf noch ausführlicher zurückzukommen ist.

Als die wichtigste Quelle des Staubes muss vom hygienischen Gesichtspunkte aus der Mensch und seine ganze Thätigkeit erachtet werden. Einerseits ist in dieser Beziehung die Körperoberfläche durch Abschülferung der Epidermis thätig, andererseits aber geben alle Körperbewegungen zu Staubbildung Anlass, indem durch Stoss und Reibung Moleküle von den berührten Gegenständen abgetrennt werden; und endlich wirken in dieser Richtung eine grosse Anzahl von speciellen Verrichtungen des Menschen, bei Bearbeitung verschiedener Naturproducte, wovon in dem Capitel „Gewerbekrankheiten“ speciell die Rede ist.

Eine Frage von eminenter Wichtigkeit für die Hygiene ist die, ob aus Flüssigkeiten oder von feuchten Oberflächen feste Körperchen, z. B. Spaltpilze, in die Luft gelangen können. Diese Frage wurde

1) LAMMERS, Der Moorrauch und seine Culturmission. Deutsche Zeit- und Streitfragen, herausgeg. von HOLTZENDORFF und ONCKEN. Jahrg. 5. Heft 70.

2) Tagblatt der 55. Naturforscherversammlung in Eisenach. 1892. S. 101.

3) SPRENGNAGEL, „Das Ausland“. Bd. 1869. No. 28.

erst in den letzten Jahren gestellt und auch beantwortet, nachdem man bisher angenommen hatte, dass unendlich leichte Körperchen (Spaltpilze) aus Flüssigkeiten durch verdunstende Wassertheilchen fortgeführt werden und als Stäubchen in der Luft umherschwimmen.

Dieser und ähnlichen Anschauungen trat nun NÄGELI<sup>1)</sup> nicht nur mit theoretischen Argumenten, sondern auch mit exacten Experimenten gegenüber. Er wies darauf hin, dass aus Lösungen von nichtflüchtigen Stoffen auch nicht die winzigste Menge dieser Stoffe verschwindet, wenn die Lösungen bei gewöhnlicher Temperatur verdunsten; da nun die kleinsten bekannten Stäubchen, wozu NÄGELI die Spaltpilze rechnet (S. 117), sich zu den Molekülen gelöster Substanzen ungefähr wie Kanonenkugeln zu Sandkörnern verhalten, so ist schon deswegen ein Entweichen derselben aus einer Flüssigkeit nicht wohl denkbar. Wohl können aus stark bewegten Flüssigkeiten, z. B. vom brandenden Meere oder Wasserfällen, oder auch aus Flüssigkeiten, in denen Gasentwicklung stattfindet oder sonstwie Schaum gebildet wird, durch Verspritzen kleine Tröpfchen in die Luft gelangen und nach dem Verdunsten feste Stäubchen hinterlassen, aber nicht möglich ist dies, wenn Flüssigkeiten sich in Ruhe befinden. Diese Deductionen wurden von NÄGELI, wie erwähnt, noch durch eine Reihe von Experimenten gestützt, auf welche hier nicht näher eingegangen werden kann.

Auch von nassen Oberflächen, z. B. von feuchtem Erdreiche, von frischen Excrementen, gelang es NÄGELI nicht, durch darübergeleitete Luftströme, selbst von grosser Geschwindigkeit, Pilzstäubchen abzulösen, so dass er endlich zu dem Schlusse kam, dass Pilzstäubchen aus Flüssigkeiten oder von feuchten Oberflächen nur durch Austrocknen und darauffolgende mechanische Verkleinerung irgend welcher Art in die Luft gelangen können; was den letzteren Punkt anlangt, so ist dabei nicht allein an die groben mechanischen Stösse und Reibungen, wie z. B. das Umhergehen von Menschen und Thieren und deren Hantierungen, zu denken, sondern auch an die geringen, dem Auge meist unsichtbaren Bewegungen, welche durch Temperaturänderungen bedingt sind und besonders bei ungleichmässiger Ausdehnungsfähigkeit verschiedener Stoffe leicht Verschiebungen und Zusammenhangstrennungen verursachen. Im wesentlichen wurden die Ergebnisse jener Versuche durch spätere Versuche von NÄGELI und BUCHNER<sup>2)</sup>

---

1) NÄGELI, CARL v., Die niederen Pilze. München, Oldenburg. 1877. S. 107 ff.

2) Aertztliches Intelligenzblatt. 1880. S. 574. Sitzungsberichte der k. b. Academie der Wissensch. 1879. Sitzg. v. 7. Juni.

und ähnliche von PUMPELLY und SMITH <sup>1)</sup> und WERNICH <sup>2)</sup> unterstützt, so dass man jetzt die Thatsache als feststehend betrachten darf, dass aus Flüssigkeiten und von feuchten Oberflächen feste Körperchen so lange nicht in die Luft gelangen können, als jene Substrate sich in Ruhe befinden, Verdunstung allein ist nicht im Stande, feste Partikelchen aus ihnen in die Luft überzuführen. Dagegen kann durch Verspritzen heftig bewegter Flüssigkeiten oder durch Schaumbildung in Folge von heftiger Gasentwicklung ein solcher Uebergang bewirkt werden; in der Regel wird jedoch Austrocknung und nachfolgende mechanische Verkleinerung die Veranlassung zum Zerstäuben von Pilzvegetationen in Flüssigkeiten und auch von gelösten, nicht flüchtigen Substanzen sein.

In der eingangs citirten Abhandlung NÄGELI's <sup>3)</sup> verbreitete sich derselbe eingehend über die Ursachen des Schwebens und der Bewegungen der Luftstäubchen, worüber Folgendes hier erwähnt werden muss. Die Anziehungskraft der Erde wirkt beständig auf die in der Luft vorhandenen Stäubchen ein und bewirkt das Niederfallen derselben auf die Erdoberfläche, sofern nicht andere Ursachen vorhanden sind, welche dies verhindern. Als solche können nur Bewegungen der Luft angesehen werden, nachdem den Stößen der Luftmoleküle kein Einfluss auf die Bewegung der Luftstäubchen zugeschrieben werden darf, da einerseits deren kinetische Energie im Verhältnisse zu der Masse auch der kleinsten Partikelchen viel zu gering ist und andererseits die Zahl der von allen Seiten gleichzeitig erfolgenden und sich gegenseitig aufhebenden Stösse so gross ist, dass jedes Körperchen sich ebenso verhält als würde es nicht gestossen. Es kommen somit nur die Massenbewegungen der Luft in Betracht. Dieselben wirbeln den mechanisch erzeugten Staub auf, wie man im Freien Gelegenheit zu beobachten hat, und tragen ihn oft auf weite Entfernungen hin (Passatstaub, vulkanische Asche). Aber auch in geschlossenen Räumen, selbst in Zimmern, welche lange Zeit nicht betreten waren, findet man Staub in der Luft, wenn auch nicht sichtbar, so doch deutlich nachweisbar. Da nun hier die Windbewegung gänzlich fehlt, so müssen Factoren vorhanden sein, welche das Schweben der Stäubchen in der Luft bedingen; als solche bezeichnet NÄGELI Luftbewegungen, und zwar nach aufwärts gerichtete (wie sie durch Temperaturdifferenzen auch in geschlossenen Räumen bedingt werden). Um ein Körperchen im Schweben zu erhalten, muss

1) National board of health Bulletin. Washington 1881. Suppl. 13.

2) VIRCHOW's Archiv. Bd. 79. Heft 3.

3) Sitzungsberichte der k. b. Academie der Wissensch. 1879. 7. Juni.

der nach aufwärts gerichtete Luftstrom der Fallgeschwindigkeit des festen Körpers das Gleichgewicht halten und wird sich dessen Geschwindigkeit je nach dem Gewichte des getragenen Körpers, der Gestalt, der nach unten gerichteten Fläche und dem Querschnitte zu richten haben.

Die Verdichtung von Gasen auf der Oberfläche fester Körper spielt bei staubförmigen Körpern eine ganz hervorragende Rolle, da die Masse der verdichteten Luft in einem ganz anderen Verhältnisse zur Masse des Staubpartikels steht, als zu der grösserer Körper. Die verdichtete Lufthülle vergrössert das Volumen eines Körperchens, ohne dessen Gewicht merklich zu erhöhen, sie hat die Bedeutung eines Fallschirmes oder eines Segels, indem sie den für die mechanische Action wirksamen Querschnitt erweitert. Es kommt somit wesentlich auf das Verhältniss zwischen Gewicht und Fallgeschwindigkeit eines Staubpartikels zu der Geschwindigkeit irgend eines Luftstromes an, ob dasselbe schweben bleibt oder zu Boden sinkt oder fortgetragen wird; im ersteren Falle sind beide wirksame Factoren gleich gross, im zweiten ist die Luftgeschwindigkeit kleiner als die Fallgeschwindigkeit des Körperchens, im letzten Falle endlich grösser.

Was die Mengen des in der Luft enthaltenen Staubes anlangt, so liegen darüber noch sehr wenige Beobachtungen vor. TISSANDIER<sup>1)</sup> hat in Paris solche angestellt und zunächst einen beträchtlichen Unterschied im Staubgehalte der Luft nach Regen und nach längerdauernder Trockenheit constatirt; im ersteren Falle fand er in 1 Cbm. Luft 6 Mgrm., im letztern dagegen 23 Mgrm. Versuche, welche später auf dem Lande angestellt wurden, ergaben bei trockenem Wetter 3—4,5 Mgrm., bei feuchtem aber nur 0,25 Mgrm. Staub, womit also auch ein wesentlicher Unterschied zwischen Stadt- und Landluft erwiesen scheint. Fortlaufende regelmässige Untersuchungen über den Staubgehalt der Luft im Freien verdankt man FODOR<sup>2)</sup>. Derselbe hatte in Budapest während eines ganzen Jahres die Luft im Freien, 5 Mt. hoch über dem Erdboden, untersucht und dabei folgende Mengen Staub in 1 Cbm. Luft gefunden:

#### TABELLE XLIX.

##### Staubgehalt der Luft im Freien.

September . . . . .	0,77	} Herbst 0,43
October . . . . .	0,28	
November . . . . .	0,25	

1) TISSANDIER, Les poussières de l'air. 1877. p. ?.

2) FODOR, Hygien. Untersuchungen über Luft, Boden und Wasser. Braunschweig 1881. S. 94.



December . . . . .	0,24	} Winter 0,24
Januar . . . . .	0,28	
Februar . . . . .	0,19	
März . . . . .	0,50	} Frühling 0,35
April . . . . .	0,19	
Mai . . . . .	0,36	
Juni . . . . .	0,75	} Sommer 0,55
Juli . . . . .	0,41	
August . . . . .	0,49	
September . . . . .	0,43	} Herbst 0,43
October . . . . .	0,43	

Demnach ist im Winter und Frühjahr die Luft etwas ärmer an Staub als im Sommer und Herbst, was mit der stärkeren Austrocknung des Erdbodens während Sommer und Herbst und der feuchten Beschaffenheit desselben im anderen Halbjahre nach alter Erfahrung seine Erklärung findet.

Diesen wenigen Versuchen über den mittleren <sup>1)</sup> Staubgehalt der Luft im Freien mögen hier einige Angaben gegenüber gestellt werden, welche zeigen, wie beträchtliche Mengen Staubes unter Umständen in der Luft geschlossener Räume unter dem Einflusse der Thätigkeit der Menschen enthalten sein können. HESSE <sup>2)</sup> fand

TABELLE L.

Staubgehalt der Luft in Milligrammen pro Cubikmeter Luft.

Filzschuhfabrik (Fachraum) . . . . .	175 Mgrm.
Ebenda . . . . .	106 "
Kunstmühle (neues System) . . . . .	4,4 "
Mahlmühle (altes System) . . . . .	47,7 "
Bildhauerwerkstätte . . . . .	8,7 "
Mechanische Weberei . . . . .	3,0 "
Papierfabrik (Hadernsaal) . . . . .	3,77 "
Ebenda . . . . .	22,9 "
Ebenda . . . . .	24,9 "
Hutfabrik . . . . .	6,4 "
Eisenwerk (Putzraum) . . . . .	71,7 "
Ebenda . . . . .	100,0 "
Kohlengrube . . . . .	14,3 "
Erzgrube . . . . .	14,5 "
Wohnhaus (Studirzimmer) . . . . .	0 "
" (Wohn- und Kinderstube) . . . . .	1,6 "

1) Wegen der langen Dauer der einzelnen Versuche können dieselben nur mittlere Werthe angeben; während dieser Zeit jedoch können ungleich viel größere und wieder kleinere Mengen Staub vorhanden gewesen sein.

2) HESSE, Quantitative Staubbestandtheile in Arbeitsräumen. DINGLER's polytechn. Journal. 1881. Bd. 240. S. 52.

Es erübrigt nun, nur noch auf die Natur der Luftstäubchen näher einzugehen. Nach dem im Vorausgehenden Gesagten lässt sich von vornherein erwarten, dass aller Staub zum Theil aus mineralischen, zum Theil aus organischen Stoffen bestehe. TISSANDIER (l. c.) fand, dass der von ihm in Paris gesammelte Staub 25—34 % organische, d. h. verbrennbare Stoffe, mithin 66—75 % anorganische Stoffe enthielt. Der Staub, welchen TICHBORNE <sup>1)</sup> in Dublin in den Strassen der Stadt gesammelt hatte, enthielt 45,2 % organische und 54,8 % anorganische Stoffe, während Staub aus einer Höhe von 134' (40 Mt.) nur 29,7 % verbrennliche und 70,3 % mineralische Substanzen ergab. WOLFINGER <sup>2)</sup> fand einen im Freien während des Sommers gesammelten Staub aus 25,4 % organischer und 74,6 % anorganischer Stoffe bestehend, während von Staub, in einem Krankensaale gesammelt, 73,4 % verbrennlich waren.

Die Verwitterung der Erdoberfläche, sowie die Thätigkeit von Vulkanen, bedingt das Vorkommen grosser Mengen mineralischen Luftstaubes. So hat REIMSCH <sup>3)</sup> auf grossen Leinwanddächern, welche mit Säuren oder Laugen befeuchtet erhalten wurden, Kalium, Calcium, Magnesium, Schwefelsäure, Phosphorsäure, Salzsäure, Kieselsäure, Eisenoxyd, Blei, Manganoxyd, Zinn und Kupfer nachgewiesen. Bei der gewerblichen Thätigkeit der Menschen spielen folgende anorganische Staubarten eine hervorragende Rolle: Kohle, Steinkohle, Graphit, Russ, Eisen, Eisenoxyd, Eisenoxyduloxyd, phosphorsaures Eisenoxyd, Quarzstaub, Staub von Mühl- und Schleifsteinen, Glasstaub, Kieselerde, Sand, Thon u. s. w. u. s. w. (vergleiche HIRT, Gewerbekrankheiten).

Die organischen verbrennlichen Bestandtheile des Luftstaubes lassen sich ihrer Bedeutung nach in zwei wesentlich verschiedene Gruppen theilen, deren eine nur Detritus organisirter Gebilde, dem Pflanzen- und Thierreiche entstammend, umfasst, während in die zweite alle Keime niederer Lebewesen, welche unter günstigen Umständen wieder in das Leben gerufen werden können, zu rechnen sind.

Die erste Gruppe anlangend, findet man bei Untersuchung des Luftstaubes, besonders in bewohnten Räumen, aber auch im Freien, die Abfälle der Körperoberfläche von Menschen und Thieren, Haare und Epidermiszellen. Die beständige Reibung der Kleider an unserer Haut bedingt aber nicht nur eine Abschülferung der vertrockneten Epidermiszellen, sondern auch eine Zerstäubung von Fasern, aus

1) Chemical News. 1870.

2) Untersuchungen über den Staub in Krankensälen. München 1877. Diss.

3) Zeitschrift für analytische Chemie. Bd. 4. S. 457.

welchen die Kleidungsstoffe bestehen, deswegen haben alle Forscher, von EHRENBURG angefangen bis auf die neueste Zeit, constant Fasern oder Faserstücke von Leinwand und Baumwolle und Wollhaare im Luftstaube aufgefunden, und jeder Mikroskopiker weiss, wie häufig diese Fasern als Verunreinigung mikroskopischer Präparate vorkommen. Alsdann findet man Bestandtheile pflanzlicher Organismen, Stärkekörnchen, Blatthaare, Holzzellen u. s. w. Eine besondere Bedeutung erreicht dieser Detritus organisirter Gebilde, wenn er in grossen Mengen in der Luft enthalten ist, wie bei manchen Gewerbebetrieben. Hauptsächlich ist es die Textilindustrie, welche grosse Mengen organischen Staubes erzeugt, Wollstaub, Baumwollstaub, daran anschliessend der Hadernstaub in Papierfabriken. In zweiter Linie folgt alsdann Getreide- und Mehlstaub, Holzstaub, Knochenstaub und Haarstaub. (Vergl. Staubinhalationskrankheiten von MERKEL.)

Ein weitaus grösseres Interesse jedoch, als den eben aufgezählten Dingen, kommt der zweiten Gruppe der Mikroorganismen zu.

Es sei hier nur vorübergehend der schon oben angeführten Pollenkörner Erwähnung gethan, welche, obwohl an und für sich nicht als Lebewesen zu betrachten, doch als lebensfähige Zellen aufzufassen sind. Das eigentliche Interesse aber kommt den Keimen niederer Lebewesen und den niedersten Organismen überhaupt zu, welche in der Luft vorhanden sind. Die reichhaltige Welt der kleinsten, mit blossen Auge nicht mehr sichtbaren Lebewesen in der Luft, wurde im Jahre 1830 durch die Untersuchungen EHRENBURG's erst erschlossen. Seit dieser Zeit aber hat der Fleiss einer grossen Reihe von Naturforschern eine Summe von Erfahrungen zu Tage gefördert, welche geradezu umgestaltend auf viele Gebiete menschlichen Wissens einwirkte.

Schon vor EHRENBURG war von LEEUWENHOEK die Vermuthung ausgesprochen worden, dass die in stagnirendem Regenwasser oder in Pflanzenaufgüssen entstehenden kleinsten Wesen aus der Luft stammen müssten, welche die Keime derselben enthält und war damit der erste Anstoss zur Bekämpfung der Lehre von der *Generatio aequivoca* s. *spontanea* gegeben worden. Ein Jahrhundert später jedoch erst entbrannte der heftige Kampf gegen diese Lehre, welcher bis in die neuere Zeit andauerte, jetzt aber definitiv entschieden ist.

SPALLANZANI <sup>1)</sup> sprach 1780 den Grundsatz aus: „*Omne vivum ex ovo*“ und veranlasste dadurch eine grosse Anzahl von Versuchen,

---

1) LAZARO SPALLANZANI, Versuche über die Erzeugung von Thieren und Pflanzen. Deutsch von Michaelis. Leipzig 1876.

welche darauf gerichtet waren, die Keime der in Infusionen sich bildenden niederen Thiere, Infusorien in der Luft nachzuweisen. So entstanden die Arbeiten von SCHULZE <sup>1)</sup>, welcher 1836 zeigte, dass durch Sterilisirung fäulnissfähiger Stoffe und Ausschluss der Luft durch eine Oelschichte die Zersetzung derselben verhindert werde; aber auch dann blieb Fäulniss aus, wenn die Luft nicht ganz abgehalten blieb, aber erst durch Schwefelsäure von Keimen befreit worden war. SCHWANN <sup>2)</sup>, welcher in gleicher Richtung vorging, zerstörte die in der Luft enthaltenen Keime durch starkes Erhitzen (1837), HELMHOLTZ <sup>3)</sup> durch Glühen der Luft. SCHRÖDER und DUSCH <sup>4)</sup> entfernten die Keime mechanisch durch Filtration der Luft durch Baumwolle, HOFFMANN <sup>5)</sup> und PASTEUR <sup>6)</sup> erreichten den gleichen Effect durch mehrmaliges Umbiegen der in dünne Röhren ausgezogenen Hälse ihrer Versuchskolben. Es war damit das Vorhandensein der Keime von Fäulniss- und Gährungserregern in der Luft erwiesen und damit die Lehre von der Panspermie begründet; noch heutzutage bedient man sich der eben erwähnten Methoden der Luftfiltration oder des gänzlichen Abschlusses der Luft von sterilisirten Stoffen nicht nur zu Zwecken der Forschung im Laboratorium, sondern auch zur Conservirung der Nahrungsmittel, und wird so tagtäglich im grössten Stile der indirecte Nachweis von Keimen in der Luft geliefert.

Aber erst EHRENBERG gelang es, den Luftstaub direct mit Hilfe des Mikroskopes zu untersuchen und darin die Keime von Lebewesen aufzufinden. Er analysirte den Staub der Luft von Berlin, Petersburg und Tobolsk, Zürich, Venezuela, vom Libanon, vom Altai und von den höchsten Spitzen des Himalaya; sodann den Staub der Landstrassen, der Wohnräume, Kasernen, Spitäler u. s. w. und überall glückte ihm, wie allen späteren Forschern, eine reiche Ausbeute an niederen Lebewesen des Pflanzen- und Thierreiches. Im Jahre 1871 konnte er von 460 verschiedenen organischen Formen berichten, die er im Passatstaube aufgefunden hatte, wovon 194 Polygastern, 145 Phytolitharien, 25 Polythalamien und der Rest kieselartige Grastheile, Insectenfragmente u. s. w. waren.<sup>7)</sup>

1) GILBERT'S Annalen der Chemie und Physik. 1836. Bd. 39. S. 487.

2) Ibidem. Bd. 41. S. 184.

3) MÜLLER'S Archiv. 1843. S. 453.

4) Annalen der Chem. u. Pharm. Bd. 89. S. 232.

5) Annalen der Chemie u. Pharm. Bd. 115. S. 228.

6) Annales de chimie et de physique. 1862. Bd. 64. p. 1.

7) Abhandlungen der kgl. Acad. d. Wissensch. zu Berlin. 1871. S. 93.



Diese ergebnissreichen Untersuchungen wurden nun von anderen Forschern ausgedehnt und vervollkommenet. EHRENBERG hatte nur freiwillig aus der Luft ausgeschiedenen Staub untersucht, PASTEUR <sup>1)</sup> filtrirte alsdann die Luft durch Schiessbaumwolle, löste dieselbe in Aether und untersuchte die in der Aetherlösung enthaltenen Staubtheilchen. Und nun folgte die Erfindung des Aëroskopes durch POUCHET <sup>2)</sup>, welches die in irgend einem bestimmten Luftvolum enthaltenen Keime niederer Organismen zu zählen und der directen Beobachtung mittelst des Mikroskopes zugänglich zu machen bestimmt war. Das Instrument wurde bis auf die neueste Zeit vielfach abgeändert <sup>3)</sup>, allein leider haben die vielfachen, mit Hilfe desselben angestellten Untersuchungen nur wenig brauchbare Resultate ergeben, da wegen der Kleinheit gerade der wichtigsten Stäubchen die directe Untersuchung mit dem Mikroskop nicht mehr ausreicht und da überdies kein Aëroskop bis jetzt im Stande war, der Luft alle Stäubchen zu entziehen, wie man leicht durch Controlversuche beweisen kann.

Man geht daher in neuerer Zeit darauf aus, die in der Luft enthaltenen Keime in geeignete Nährlösungen zu bringen und aus deren Verhalten daselbst, eventuell mit Hilfe von Impfungen auf Thiere, ihre Natur festzustellen. COHN <sup>4)</sup>, welcher zuerst diesen Weg betrat, und nach ihm MIFLET <sup>5)</sup> und WERNICH <sup>6)</sup> leiteten die Luft durch sterilisirte Nährlösungen in kleinen Blasen und beobachteten die Entwicklung von Pilzvegetationen. MIQUEL (l. c.) schlägt ein ähnliches Verfahren, nur mit einem anders construirten Apparate, ein. Gegen diese Methoden erhebt nun BUCHNER <sup>7)</sup> mit Recht den Einwand, dass sie die Thatsache der Concurrenz der niederen Pilze gänzlich vernachlässigten und folglich aus den erhaltenen Vegetationen noch nicht auf das Fehlen von Keimen anderer Pilzspecies in der untersuchten Luft geschlossen werden dürfte. Abgesehen davon kann man sich aber auch davon überzeugen, dass bei diesen Apparaten durchaus nicht alle Stäubchen zurückgehalten werden; Verfasser dieses fand in Luft, welche zwei Waschflaschen in Form kleiner Bläschen passirt hatte, noch reichlich

1) Comptes rendues. Bd. 50. p. 302.

2) Ibidem. Bd. 47. p. 979.

3) Vergl. FLÜGGE, Hygienische Untersuchungsmethoden. S. 163 und MIQUEL, Les organismes vivants de l'air. Paris 1883. p. 35.

4) Beiträge zur Biologie der Pflanzen. Bd. 1. Heft 3. S. 148.

5) Beiträge zur Biologie der Pflanzen. Bd. 3. H. 1. S. 124.

6) Ibidem. Bd. 3. H. 1. S. 105.

7) Aerztliches Intelligenzblatt. 1880. S. 560.

Staub und EMMERICH <sup>1)</sup> wies nach, dass, wenn er zwei Apparate von COHN oder MIQUEL hintereinander verband, so dass die Luft erst den einen, dann den anderen passiren musste, er in beiden Pilzwucherungen bekam. Noch weniger Anspruch auf Vollkommenheit können die Methoden von FODOR <sup>2)</sup> und KOCH <sup>3)</sup> erheben, da bei beiden auf die Quantität der untersuchten Luft keine Rücksicht genommen wird, indem es rein dem Zufalle überlassen bleibt, was aus der über einem oben offenen Cylinder, auf dessen Boden sich eine Nährlösung befindet, innerhalb einer gegebenen Zeit in diese hereinfällt. Eine derartige Versuchsanordnung hätte nur dann eine Berechtigung, wenn die Luftstäubchen wie die Regentropfen zu Boden fallen würden, so aber thun sie dies mit unendlich viel geringerer und überdies sehr verschiedener Geschwindigkeit, ja die leichtesten bleiben sogar selbst in geschlossenen Räumen in der Luft schweben und zu diesen gerade gehören die niedersten Pilzstäubchen (NÄGELI). Diese Methoden gestatten also nur die Schlussfolgerung, dass die entwickelten Pilze auch wirklich in der Luft vorhanden waren, nicht aber, dass ausser ihnen noch andere gleichzeitig anwesend waren, und noch viel weniger erlauben sie eine auch nur annähernde Schätzung der Zahl der Keime. Diesem Ziele kommen jedenfalls viel näher die Methoden von BUCHNER <sup>4)</sup>, EMMERICH <sup>5)</sup> und vielleicht eine auf der Hygienischen Ausstellung zu Berlin vorgeführte, unter KOCH's Leitung ausgearbeitete Methode von HESSE <sup>6)</sup>. BUCHNER untersucht möglichst kleine Luftvolumina, 100 Ccm. bis 1 Liter, um nur einen einzigen Pilzkeim in dem Luftvolum zu haben und so die Concurrenz auszuschliessen. Nach dieser Methode arbeitete auch Verfasser <sup>7)</sup> bei seinen Untersuchungen von Canalgasen auf Pilzkeime. EMMERICH leitet grössere Luftmengen in feinen Bläschen durch einen eigens geformten, mit sterilisirten Nährlösungen gefüllten Apparat, in welchem, wie Controlversuche ergaben, alle Stäubchen zurückgehalten werden. Die mit den Keimen aus einigen Litern Luft beladene Nährlösung wird alsdann stark mit pilzfreier Nährlösung verdünnt und in kleine Portionen getheilt, so dass in jeder Portion nur ein Pilzkeim voraussichtlich vorhanden ist. Oder aber es werden nur kleine Luftmengen

---

1) Archiv für Hygiene. Bd. 1. H. 2. S. 174.

2) FODOR, Hygienische Untersuchungen über Luft, Boden, Wasser. S. 99.

3) Mittheilungen aus dem kaiserlichen Gesundheitsamte. Bd. 1. S. 33.

4) Aerztliches Intelligenzblatt. 1880. S. 561.

5) Archiv für Hygiene. Bd. 1. H. 2. S. 169.

6) Noch nicht publicirt.

7) RENK, Hygienische Tagesfragen. II. Die Canalgase u. s. w. S. 15.

(je 100 Ccm.) durch eine grössere Anzahl von Apparaten geleitet und aus der Zahl der inficirten Apparate die Menge der Keime berechnet.

Leider sind bis jetzt noch keine systematischen Beobachtungen über die Menge der Keime in der Luft mit Hilfe der letztgenannten Methoden angestellt worden. BUCHNER gibt als Extreme seiner Versuche an, dass in einem Zimmer 10 Spaltpilze im Liter Luft gefunden wurden, während im Freien oft in 2 Litern kein Spaltpilz enthalten war. RENK (l. c.) fand in der Luft eines Laboratoriums 1 Spaltpilz pro Liter, dagegen in einer Abtrittleitung nur 1 Spaltpilz in 31 Litern.

Immerhin aber verdienen einige der Resultate, welche mit Hilfe jener als unvollkommen bezeichneten Methoden erhalten wurden, volle Beachtung, unter dem Vorbehalte, dass sie nur als relative, nicht absolute Werthe betrachtet werden; es sind dies Beobachtungen über die Mengen niederster Organismen in der Luft und die Abhängigkeit dieser Mengen von verschiedenen meteorologischen Elementen.

Dass in der Luft beständig und aller Orten niederste Organismen vorhanden sind, hatten sowohl die Untersuchungen über Gährung und Fäulniss, als auch die directen Beobachtungen mit Hilfe des Aëroskops gelehrt. Es fiel jedoch schon PASTEUR <sup>1)</sup> auf, dass zu gewissen Zeiten grössere, zu anderen geringere Mengen davon vorhanden waren; besonders schien der Regen die Anzahl derselben zu vermindern. JOLLY und MUSSET <sup>2)</sup> machten darauf aufmerksam, dass die Atmosphäre im Winter nur sehr wenige Organismen mit sich führe, dass sie dagegen im Sommer reichlich damit beladen sei. MADDOX <sup>3)</sup> fand die grössten Mengen während der Monate Juli und August, weniger während der Wintermonate. Eine deutliche Abnahme der amorphen und anorganischen Bestandtheile des Luftstaubes beobachtete CUNINGHAM <sup>4)</sup> nach Regengüssen an Regentagen, dagegen konnte er keine Verminderung der Organismen, eher sogar eine Vermehrung derselben, wahrnehmen. Auch FODOR <sup>5)</sup> constatirte, dass im Winter die exponirten Nährflüssigkeiten am häufigsten rein blieben, dass ferner eine Verminderung der niederen Organismen in Folge von Regengüssen und Schneefällen auftrat.

1) Comptes rendues. Bd. 51. p. 348.

2) Ibidem. Bd. 50. p. 647.

3) Monthly Microscopical Journal. Bd. 5. p. 45.

4) Annual Report of the Sanitary Commissioner of India for 1872. Appendix A. p. 1.

5) FODOR, Hygienische Untersuchungen über Luft, Boden u. Wasser. S. 117.

Die eingehendsten Untersuchungen über vorliegenden Gegenstand wurden in neuester Zeit von MIQUEL <sup>1)</sup> in Montsouris bei Paris angestellt. Er unterscheidet zunächst zwei Gruppen der niedersten Pilze, die Schimmelpilze und die Schizomyceten; erstere Gruppe, aëroskopisch untersucht, zeigte ein auffallendes, sich Jahr für Jahr wiederholendes Verhalten zur Jahreszeit, indem während eines Zeitraumes von drei Versuchsjahren constant im März die geringste Menge derselben vorkam (im Mittel 5480 Sporen pro 1 Cbm. Luft). Im Sommer erreichte deren Menge jedoch oft das Zehnfache des Minimums und zwar zweimal während des Monates Juni, einmal im Juli (im Mittel 35030 Sporen); das absolute Maximum betrug 54460 Sporen in 1 Cbm. Luft im Juni 1880. Die Schimmelsporen nehmen nach jenen Beobachtungen in Folge von Regengüssen zu (S. 60), da eben die Befeuchtung die Entwicklung und Fructification der Schimmelpilze befördert, während Trockenheit dieselbe hindert. Anders dagegen verhalten sich die Schizomyceten; ihre Menge schwankt während der einzelnen Monate ziemlich unregelmässig, doch ist im Allgemeinen die Luft im Winter arm an Bakterien; diese nehmen im Frühjahr und Sommer an Zahl zu und erreichen im Herbst ihr Maximum, worauf schnell ein Abfall bis zum Minimum erfolgt. Die entsprechenden Mittelzahlen sind für Winter 53, Frühjahr 70, Sommer 92 und Herbst 121, also im Gesamtdurchschnitt 85 Bakterien in 1 Cbm. Luft (S. 222). Im Gegensatz zu den Schimmelsporen erfahren die Schizomyceten eine deutliche Verminderung durch Regen, welche Thatsache in der luftreinigenden Eigenschaft des Regens einerseits und der Unmöglichkeit des Ueberganges von Spaltpilzen aus Flüssigkeiten und von feuchten Flächen in die Luft ihre Erklärung findet. Sehr einflussreich erwies sich in jenen Versuchen die Windrichtung, insofern als jene Winde, welche erst die Stadt Paris passiren mussten, bevor sie die Station Montsouris erreichten (NW, N, NE und E), mehr Microben führten als solche, welche vom Lande kamen, ein Beleg für den Einfluss der menschlichen Thätigkeit auf die Bereicherung der Atmosphäre mit Staub, speciell mit niederen Organismen.

Entgegen den Lehren der Panspermatiker waren einige Forscher (SANDERSON <sup>2)</sup>, RINDFLEISCH <sup>3)</sup>, COHN <sup>4)</sup>) zu der Behauptung gekom-

---

1) MIQUEL, Les organismes vivants de l'atmosphère. Paris 1883.

2) SANDERSON II, Report of resarches concerning the intimate pathology of contagion. London 1871.

3) VIRCHOW's Archiv. Bd. 54. S. 404.

4) Schlesische Gesellschaft für vaterländische Cultur. Naturwissenschaftliche Section. 1872. Sitzg. v. 14. Febr.



men, dass die Infection von fäulniserregenden Stoffen durch die Luft nur schwierig geschehe, weil dieselbe nicht reich genug an Infectionserregern sei. Auch HILLER<sup>1)</sup>, welcher die Versuche der genannten Autoren modificirte und kritisirte, kommt zu dem Resultate, „dass der fäulniserregende Einfluss der staubbaltigen atmosphärischen Luft in der That kein so grosser und allgemeiner sei, als nach den Versuchen der Panspermatiker anzunehmen war.“ Es handelt sich jedoch in diesen Fällen um unrichtige Schlussfolgerungen; die Thatsache, welche von allen diesen Experimentatoren richtig beobachtet wurde, ist die, dass fäulnissfähige Substanzen oft unerwarteter Weise an der freien Luft unzersetzt bleiben oder anstatt zu faulen von Schimmeln überzogen werden. Sieht man jedoch zu, welcher Art die exponirten Substanzen waren, so findet man, dass meist solche angewendet wurden, welche alsbald an der Oberfläche austrocknen (Fleischstückchen, Eiereiweiss, Eidotter) oder an und für sich eine Consistenz besitzen, welche ein Eindringen daraufgefallener Stäubchen unmöglich macht (hartgesottene Eier). Ferner war damals die von NÄGELI<sup>2)</sup> zuerst hervorgehobene Thatsache der Concurrenz der niederen Pilze (Schimmel-, Spross- und Spaltpilze) untereinander noch nicht bekannt, sonst hätte das häufige Vorkommen von Schimmelrasen bei jenen Versuchen die Annahme nahe legen müssen, dass die Spaltpilze durch die Schimmelpilze verdrängt worden seien. Endlich können auch in der Versuchsanordnung Fehler bedingt gewesen sein; wenn beispielsweise HILLER mittelst einer Pravaz'schen Spritze einige Raumtheile Luft in ein Ei injicirte und keine Fäulniss bekam, so kann das doch nicht auf eine relative Seltenheit der Fäulnisspilze in der Luft bezogen werden; denn ganz abgesehen davon, dass die Spaltpilze in der engen Cantile hängen bleiben konnten, ist auch in Betracht zu ziehen, dass die injicirte Luftmenge nur einige wenige Cubikcentimeter betragen kann; eine Luft aber, welche in 2—3 Cbem. noch keinen Spaltpilz enthält, als arm zu bezeichnen, dürfte doch nicht angehen; denn solche Luft kann immerhin im Liter 100—200 Pilze enthalten und reichlich Fäulnissvorgänge verursachen. Im Uebrigen aber erscheinen die erwähnten Schlussfolgerungen auch durch die eben angeführten Arbeiten MIQUEL's (s. oben) widerlegt, deren Resultate in Folge der Unvollkommenheiten der Methode sogar sich noch höher berechnen dürften, mithin eine reichliche Beladung der Luft mit Spaltpilzen beweisen.

---

1) HILLER, Die Lehre von der Fäulniss. Berlin 1879. S. 479.

2) NÄGELI, Die niederen Pilze. S. 31 u. ff.

## 6. Witterung und Klima.

Nachdem bis in die neueste Zeit die beiden Bezeichnungen Wetter oder Witterung und Klima häufig als synonym gebraucht oder wenigstens nicht scharf auseinander gehalten wurden, stellt die neuere Meteorologie einen wesentlichen Unterschied zwischen beiden fest und versteht unter Witterung den jeweiligen Zustand der Atmosphäre über einem Orte oder Lande für eine bestimmte Zeit, einen Tag, einen Monat, selbst für ein ganzes Jahr, während unter Klima das mittlere Verhalten der Atmosphäre, wie es aus jahrelang fortgesetzten Beobachtungen der Witterung abgeleitet wird, zu verstehen ist, wobei jedoch nicht allein die Mittelzahlen aus den Beobachtungen der einzelnen Elemente, sondern auch die Extreme und die Grösse der Schwankungen in den Erscheinungen in Betracht kommen. Erst eine grössere Summe von Erfahrungen über die Witterung während verschiedener Jahre gibt die Möglichkeit der Feststellung des Klimas für einen Ort oder einen grösseren Ländercomplex.

Die einzelnen das Wetter ausmachenden Factoren sind die Temperatur, die Windbewegung, Feuchtigkeit der Luft, Wolken und Niederschläge und Staubgehalt der Luft, man bezeichnet sie als meteorologische Elemente; jedes derselben vermag dem Wetter einen besonderen Charakter zu verleihen, wenn es besonders in Erscheinung tritt und den menschlichen Sinnen sich vornehmlich bemerklich macht; man charakterisirt das Wetter als warm oder kalt, regnerisch oder trocken, trübe oder klar, windig oder ruhig, nasskalt u. s. f., je nach dem Eindrücke auf das Gefühl und Allgemeinbefinden. Während nun in dieser Beziehung die einzelnen Elemente als gleichwerthig erscheinen, besitzen sie ganz verschiedene Bedeutung für die Aufeinanderfolge der Witterungserscheinungen; hier tritt der für die jeweilige Charakteristik des Wetters gar nicht in Betracht kommende Luftdruck an die erste Stelle. Obwohl die von der Sonne der Erde zugesandte Wärme die primäre Ursache aller Aenderungen des Wetters ist, wird doch die Aufeinanderfolge der Temperaturen an einem Orte durch die Luftdrucksänderungen und die dadurch verursachten Verschiebungen von Luftmassen so wesentlich beeinflusst, dass die Temperatur als untergeordnetes Element erscheint; Luftdruck und Wind beherrschen die jeweiligen Witterungsverhältnisse.

Für die Vorhersage der kommenden Witterung ist es deshalb zunächst wichtig, sich über die Luftdrucksverhältnisse über einem

möglichst weiten Umkreise zu orientiren; eine Uebersicht derselben geben, wie S. 97 ausgeführt, die für jeden Tag anzufertigenden Isobarenkarten, indem aus ihnen ersichtlich wird, wo Depressionen oder Erhebungen im Luftmeere vorhanden sind. Es lässt sich aus diesen Isobarenkarten sofort die Bewegungsrichtung der Luft ableiten, da dieselbe von Gegenden hohen Luftdruckes nach Gegenden niederen Druckes abfliessen muss. Wie dieses Abfliessen erfolgt, wurde schon oben (S. 103) auseinandergesetzt; die Richtung ist nicht geradlinig, sondern die einer Schraubenlinie (entgegengesetzt dem Gange des Uhrzeigers).

Es lassen sich aber auch noch bezüglich der Intensität des Windes aus den Isobarenkarten Schlüsse ziehen; je näher die Isobaren in einer Gegend zusammenrücken, um so kürzer ist der Weg, welchen die Luft von der höheren zur niederen Isobare zurückzulegen hat, man könnte sagen, um so grösser ist das Gefälle; um so schneller wird daher der Abfluss erfolgen, und so findet man denn auch im Centrum der barometrischen Depression, wo die Isobaren gewöhnlich am engsten zusammenrücken, heftige Winde, stürmisches Wetter, während in Gegenden mit weit auseinander liegenden Isobaren Windstille oder schwache Winde herrschen.

Es kommt nun wesentlich darauf an, aus welchen Gegenden die Winde, welche in der eben beschriebenen Weise durch die Luftdrucksvertheilung bedingt werden, herkommen. Für das Wetter in Europa sind die Depressionen maassgebend, welche im atlantischen Ocean entstehen und von dort in östlicher oder nordöstlicher Richtung weiterschreiten. Selten gehen dieselben über den Continent, meist verfolgen sie ihren Weg über Grossbritannien und Scandinavien und von dort aus über Russland in östlicher Richtung. Der Effect ist der, dass am Continente und speciell in Deutschland westliche und südwestliche Winde überaus häufig sind, welche, indem sie Luft vom atlantischen Ocean bringen, im Sommer abkühlen, im Winter erwärmen, aber auch zugleich in beiden Fällen Niederschläge verursachen. Bedingt die Constellation der Depressionen, oder wie sie auch genannt werden, Cyclonen, und der Erhebungen oder Anticyclonen östliche Winde, so kommen dieselben über grosse Ländergebiete, folglich relativ wasserarm, und das Wetter bleibt schön.

In welcher Weise an jedem Orte die Winde das Wetter reguliren, geht hervor aus den verschiedenen Windrosen, welche man aus langjährigen Beobachtungen zu construiren im Stande ist. Berechnet man die mittlere Temperatur, welche jeder einzelnen Windrichtung entspricht und trägt die so erhaltene ähnlich wie in Fig. 21

S. 104 auf die entsprechenden Radien einer Windrose ein, so erhält man eine thermische Windrose. Verfährt man in gleicher Weise mit dem Luftdrucke, so ergibt sich eine barische Windrose; die Beobachtungen des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft führen zur Aufstellung einer atmischen, die der Bewölkung zu einer nephischen Windrose u. s. f. Dabei ist jedoch festzuhalten, dass es nicht angänglich ist, eine einzelne Rose für das ganze Jahr aufzustellen, da, wie schon oben angedeutet, ein wesentlicher Unterschied zwischen Sommer und Winter besteht. Man pflegt deshalb mindestens je zwei Windrosen für das Jahr zu entwerfen, die eine für den Sommer, die andere für den Winter. Nachfolgende Tabellen enthalten einige Beispiele solcher Windrosen, welche keiner weiteren Erläuterungen bedürfen <sup>1)</sup>:

TABELLE LI.  
Thermische Windrosen.

	Winter		Sommer	
	Höchste Temperatur	Niederste Temperatur	Höchste Temperatur	Niederste Temperatur
Nordeuropa . . . . .	SW	NE		
Südliches Europa . . . . .	SW	ENE	E	N
Ostseeländer . . . . .	SW	ENE	SE	NW
Nordseeländer . . . . .	SW	ENE	ESE	WNW
Mitteldeutschland . . . . .	SWW	NE	SE	WNW
Mittel- und Südrussland . . . . .	SSW	NNE	SE	NW
Westsibirien . . . . .	SW	N	SSE	NNW
Ostasiatische Küste . . . . .	SE	NW		
Oestliches Nordamerika . . . . .	SE	NNW	SSW	NE
Westliches Nordamerika . . . . .	SE	NNE		
Australien (Melbourne) . . . . .	NW	SE	NE	W

TABELLE LII.  
Atmische Windrosen.

	Winter		Sommer	
	Höchster Dunstkreis	Niederster Dunstkreis	Höchster Dunstkreis	Niederster Dunstkreis
Südliches Norwegen . . . . .	SW	NNE	SE	NW
London . . . . .	SW	ENE	S	NE
Halle . . . . .	S	NE	S	NE
Mühlhausen . . . . .	SW	NE	S	WNW
Arys (Ostpreussen) . . . . .	W	ENE	ESE	W
Melbourne . . . . .	SSW	E	NE	NNW

1) MOHN, Grundzüge der Meteorologie. S. 201 u. ff.



TABELLE LIII.  
Windrosen der relativen Feuchtigkeit.

	Winter		Sommer	
	Feuchtester Wind	Trockenster Wind	Feuchtester Wind	Trockenster Wind
Südliches Norwegen . . .	Seewind	Landwind	Seewind	Landwind
Halle . . . . .	ENE	W	NE	SW
Madrid . . . . .	SSW	NW	NE	SW
Westsibirien . . . . .			NW	SE
Peking . . . . .	ESE	NW		
Toronto (Amerika) . . . .	E	NW	E	NW
Melbourne . . . . .			E	N

TABELLE LIV.  
Windrosen der Niederschlagswahrscheinlichkeit.

	Winter		Sommer	
	Grösste	Kleinste	Grösste	Kleinste
Udsire (Norwegen) . . . .	S	NE	W	N
Dovre . . . . .	NW	E	S	W
Oxford . . . . .	S	NW	SE	NNE
Karlsruhe . . . . .			SW	NE
Dorpat . . . . .			SW	E
Kursk (südl. Russland) . .	SE	N	SW	E
Orenburg (südöstl. Russland)	S	NNE		
Tobolsk (Westsibirien) . .	SSW	NW	NE	S
Jakutzk (Ostsibirien) . . .	E	SW		
Hakodadi (Japan) . . . .	S	N		
Peking . . . . .	E	SW		
Toronto (östl. Nordamerika) .	E	NW	SW	N

Nach dem im Vorausgehenden Gesagten könnte es den Anschein gewinnen, als sei die Vorhersage des Wetters ausserordentlich einfach, da man aus den Isobarenkarten die voraussichtliche Windrichtung und aus den Windrosen die zu erwartende Temperatur, Feuchtigkeit, Niederschläge u. s. w. mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit entnehmen könne. Allein in praxi liegen die Verhältnisse nicht so einfach, so dass die Meteorologen, welche Wetterprophezeiungen zu machen haben, zufrieden sind, wenn 80—86 % ihrer Prophezeiungen wirklich in Erfüllung gehen. Vor Allem wechseln die Luftdruckverhältnisse oft sehr schnell, sie ändern sich von Tag zu Tag, so dass es überhaupt meist nur angeht, für die nächsten 24 Stunden das Wetter vorherzusagen. Sodann ist die Luftdruckvertheilung nicht immer so scharf ausgeprägt, dass man ein das ganze Gebiet (einen

Continent) beherrschendes barometrisches Minimum hätte. Ferner kommen sogenannte Theilminima vor, Depressionen von geringerer Tiefe und Umfang, welche sich von einer grösseren Depression ablösen und nun das Bild sehr compliciren. Andererseits aber gibt es auch wieder Anzeichen allgemeinen oder rein localen Charakters, welche für manche Fälle die Prognose erleichtern, so das Erscheinen von Cirruswölken und Streifen, welche Regen bedeuten, und andere. Es kann an dieser Stelle nicht auf alle diese Details eingegangen werden, es genüge, auf die schon vielfach citirten Werke über Meteorologie hinzuweisen.

Das Klima eines Ortes oder Landes ist in erster Linie durch die Wärmeverhältnisse bedingt, weshalb für die Vertheilung der Klimate auf der Erde die geographische Lage als der erste maassgebende Factor erscheint. Die auf astronomischer Basis beruhende Eintheilung der Erdoberfläche in Zonen fällt mit der Eintheilung der Klimate in das Tropenklima, das gemässigte Klima und Polarklima zusammen, welche alle drei wesentlich voneinander differenzirt erscheinen.

Das Tropenklima ist das der höchsten mittleren Temperaturen. Die Jahresmittel liegen (vergl. die Isothermenkarte auf beigehefteter Tafel) zwischen 20. und 30.<sup>o</sup>. Die jährliche Amplitude der Temperatur ist äusserst gering (Tabelle XXXIX S. 88) und beträgt am Aequator 1—5<sup>o</sup>, steigt aber in der Nähe der Wendekreise auf 15<sup>o</sup>. Bei so gearteten Wärmeverhältnissen kann von einer Eintheilung des Jahres in Jahreszeiten, wie in der gemässigten Zone, nicht die Rede sein; wohl haben die Orte am Aequator zweimal im Jahre höchsten und zweimal niedersten Sonnenstand, an den Wendekreisen nur einmal, allein diese Zeiten decken sich nicht mit heissester und kältester Jahreszeit; die bei höchstem Sonnenstande fast immer vorhandene Bewölkung, die Regengüsse, lassen sogar diese Jahreszeit, welche eigentlich als Sommer zu bezeichnen wäre, als Winter erscheinen und so wird mehr der Regen als die Temperatur das Eintheilungsprincip für die Jahreszeiten. Orte in der Nähe des Aequators haben daher zwei Regenzeiten und zwei trockne Jahreszeiten, in der Nähe der Wendekreise rücken jedoch die zwei Regenzeiten zusammen und verschmelzen endlich ganz, so dass an den Wendekreisen nur mehr eine Zweitheilung des Jahres in Regenzeit und trockne Zeit möglich ist. Ueber den Meeren wandert die Calmenzone mit ihren Regengüssen nicht so weit nordwärts oder südwärts als über den Ländern, sie hält sich vielmehr in der Nähe des Aequators und mehr auf der nördlichen Halbkugel. Die Windverhältnisse der Tropen sind sehr

regelmässig; in den Calmenregionen herrscht Windstille, nördlich davon weht in den unteren Schichten der Atmosphäre der untere oder Nordostpassat, darüber der obere oder Südwestpassat; auf der südlichen Halbkugel unten der Südost-, oben der Nordwestpassat (vergl. das Schema Fig. 19 S. 102). Im Gegensatze zu der geringen jährlichen Amplitude der Temperatur steht eine sehr beträchtliche tägliche Amplitude, welche auf heisseste Tage ungemein kalte Nächte folgen lässt. Die Schwankungen der Temperatur im Laufe des Tages sind während der regenlosen Zeit und bei ruhigem Wetter die grössten, welche überhaupt vorkommen. In Folge der relativen Constanz der Windbewegung, der genauen Eintheilung des Jahres in Regenzeiten und regenlose Perioden, verläuft das Wetter in den Tropen ausserordentlich regelmässig.

Das Klima der gemässigten Zone, in welcher der grösste Theil bewohnten Landes liegt, zeigt die allergrössten Verschiedenheiten auf. Es lässt sich nur im Allgemeinen angeben, dass die Mitteltemperatur des Jahres zwischen  $-15$  und  $+26^{\circ}$  Celsius (siehe die Isothermenkarte) schwankt. In den Temperaturen der einzelnen Monate finden sich die grössten Extreme, welche überhaupt auf der Erde vorkommen (vergl. Tab. XXXIX S. 88) und auch die absoluten höchsten und niedersten Temperaturen, welche je zur Beobachtung kamen (S. 85), ereigneten sich zum grössten Theile in den beiden gemässigten Zonen. Das Jahr zerfällt nach seinen Temperaturverhältnissen in eine kalte und eine warme Jahreszeit, zwischen welchen der Unterschied um so bedeutender wird, je weiter man nach Norden kommt; im südlichsten Theile der nördlichen gemässigten Zone ist der Unterschied zwischen Sommer und Winter noch gering, weiter nach Norden schieben sich zwischen beide noch Frühling und Herbst als gut abgegrenzte Jahreszeiten ein, an der Nordgrenze aber erfolgt der Uebergang vom Sommer zum Winter und umgekehrt meist so rasch, dass Frühling und Herbst kaum mehr erkennbar sind. Die Windverhältnisse sind im Vergleiche zur Tropenzone viel unregelmässiger, doch herrschen im Allgemeinen die West- und Südwestwinde vor (oberer Passat). Der Regen fällt mehr oder weniger regelmässig über das ganze Jahr vertheilt; die absolute Feuchtigkeit ist entsprechend der geringeren Temperatur geringer als in den Tropen. Die Witterung ist im Gegensatze zu den Tropen ungemein veränderlich.

Das Klima der kalten Zone oder Polarklima endlich ist das Klima der niedersten Jahrestemperaturen von  $+2^{\circ}$  abwärts. Am Nordpole fällt die Theilung in die zwei Jahreszeiten mit der Theilung des Tages in Tag und Nacht zusammen. Südlich gelegene Orte

haben bekanntlich im Sommer Perioden, während welcher die Sonne nicht untergeht und während des Winters Perioden tagelang andauern der Nächte (s. o. S. 72), während letzterer sinkt die tägliche Amplitude der Temperatur auf ein Minimum herab, da der Wechsel zwischen Erwärmung und Ausstrahlung fehlt. Die Feuchtigkeit der Luft ist eine ganz minimale, weshalb auch die Polargebiete arm an Niederschlägen sind.

Nächst der geographischen Breite ist der wichtigste Factor für das Klima eines Ortes oder Landes dessen Beziehung zu den grossen Meeren und Continenten. Man spricht daher von Land- und Seeklima oder continentalem und Küstenklima, deren wesentlicher Unterschied, wie oben (S. 67) hervorgehoben wurde, auf der verschiedenen Erwärmung von Wasser und Festland beruht. Die nächste Folge dieses verschiedenen Verhaltens ist die, dass Inseln und Küstengebiete andere Temperaturverhältnisse zeigen als Binnenländer. Vor Allem sind die Temperaturschwankungen sowohl im Laufe des Tages, als auch während des Jahres an den Küsten viel geringer als im Innern der Continente und haben daher Küstengebiete wärmere Winter, dafür aber auch weniger heisse Sommer als die Binnenländer (Tabelle XXXVIII S. 87); entsprechend sinkt die Temperatur an Orten am Meeresufer während der Nacht weniger tief vom Tagesmittel ab und erhebt sich weniger hoch über dieses als es im Innern der Continente der Fall ist (Tabelle XXXIII S. 83).

Ein weiterer Unterschied zwischen See- und Continentalklima liegt in den Feuchtigkeitsverhältnissen der Luft. Die beständig erfolgende Verdunstung von Wasser vom Meere aus bedingt für Inseln und Küstenländer einen hohen Feuchtigkeitsgehalt. Die absolute Feuchtigkeit der Luft ist fast während des ganzen Jahres an der Küste höher als im Binnenlande, ebenso die relative; es sind in Folge davon aber auch die Küstengebiete regenreicher als das Innere der grossen Continente. Die Erwärmung der grossen Continente im Sommer bedingt barometrische Depressionen über denselben, nach welchen hin die Luft von den umgebenden Meeren zufliesst, deshalb haben die Küstengebiete während des Sommers vorherrschend Seewinde, im Winter entstehen in Folge starker Abkühlung barometrische Maxima, die Luft fliesst von den Continenten nach den Meeren hin und verursacht daselbst klares, aber kaltes Wetter. Ein ähnlicher Vorgang spielt sich bei ruhigem Wetter manchmal im Laufe des Tages auf Inseln und Küsten nicht nur der grossen Meere, sondern auch kleinerer Seen ab, indem dort während des Tages die kältere Luft von der Wasseroberfläche nach dem höher erwärmten Lande hin-



fliessen (Seewind), während Nachts der Wind vom stärker erkalteten Lande nach dem See hin sich bewegt (Landwind).

Der Einfluss des Meeres auf das Klima der Küsten wird noch weiter modificirt durch die Meeresströme, indem diese einen beträchtlichen Unterschied zwischen den West- und Ostküsten der Continente veranlassen. Die Wärme, welche durch die Meeresströme nach nördlichen Breiten mitgeführt wird, kommt in Folge der in der gemässigten Zone vorherrschenden West- und Südwestwinde wesentlich den Westküsten der Continente zu gute; die Ostküsten Amerikas und Asiens sind besonders im Winter (vergl. die Karte der Isochimenen Fig. 17) wesentlich kälter, obgleich die warmen Meeresströme in ihrer Nähe entstehen, als die Westküsten von Amerika und Europa. Dementsprechend ist aber auch die Menge der Niederschläge an den erwärmten Küsten eine viel grössere als an den erkalteten, indem die warmen Meeresströme die Luft nicht nur höher erwärmen, sondern auch ergiebig befeuchten.

Einen bedeutenden Einfluss auf das Klima eines Ortes besitzt dessen Höhenlage, weshalb man Höhenklima und Thalklima unterscheidet. Zunächst kommt hier der Unterschied im Luftdrucke in Betracht, welcher sich bei Ortsveränderungen in verticaler Richtung dem Gefühle des Menschen sehr bemerklich macht. Entsprechend der Erhebung in höhere Luftschichten sinkt die Temperatur der Luft, wie oben (S. 78) schon erörtert wurde. Es muss jedoch bemerkt werden, dass die Intensität der Sonnenstrahlung mit der Erhebung über Meeresniveau zunimmt, wie alle Forscher, welche darauf ihre Aufmerksamkeit richteten, sowohl dem Gefühle nach, als auch mit Hilfe eigener Thermometer (mit geschwärzter Glaskugel) bestätigen. Die Sonnenstrahlung ist intensiver auf Bergen als in Thälern, da die Wärmestrahlen geringere Luftschichten zu passiren haben, mithin auch weniger absorbirt werden. Zum Belege hierfür mögen die Beobachtungen FRANKLAND's <sup>1)</sup> (Tabelle LV S. 142) über den Unterschied zwischen Temperatur im Schatten und in der Sonne bei Erhebung über Meeresniveau bei einer Sonnenhöhe von 60° dienen.

Selbstverständlich verhalten sich die der Sonne abgewendeten Abhänge der Gebirge wegen Mangels an Sonnenstrahlung wesentlich anders als die der Sonne zugekehrten Seiten, wie man an einzelnen Bergen sowohl, als auch an ganzen Gebirgsketten beobachten kann. Jene haben kälteres Klima als diese. Von wesentlichem Einflusse

---

1) HANN, Handbuch der Klimatologie. Bibliothek geographischer Handbücher. Stuttgart 1883. S. 142.

TABELLE LV.

Ort	Seehöhe	Thermometer	
		im Schatten	in der Sonne
Oatland Park . . . . .	46	30,0°	41,5°
Riffelberg . . . . .	2570	24,5	45,5
Hörnli . . . . .	2890	20,1	48,1
Gornergrat . . . . .	3140	14,2	47,0
Whitly . . . . .	20	32,2	37,8
Pontresina . . . . .	1800	26,5	44,0
Bernina-Hospiz . . . . .	2330	19,1	46,4
Diavolezza . . . . .	2980	6,0	59,5

auf die Temperatur der Gebirgsgegenden ist auch noch die Form der Berge, insofern der Temperaturunterschied zwischen Thal und Berg um so grösser wird, je weniger Masse ein sich erhebender Berg besitzt. Hochplateaus nehmen wegen ihrer grösseren Masse viel mehr Wärme auf als steile Berge von gleicher Höhe, weshalb Temperaturen auf Hochplateaus im Allgemeinen höher liegen als sie an Orten gleicher Höhe auf einem Berge beobachtet werden. Unter Umständen kommt nun auch in Gebirgsländern das gerade Gegentheil der Temperaturabnahme mit zunehmender Höhe zur Beobachtung. Im Winter findet man in den Alpenthälern häufig ungemein tiefe Temperaturen, während an den Abhängen, welche diese Thäler einschliessen, selbst in beträchtlicher Höhe milde Lüfte wehen. Diese Thatsache wird damit erklärt, dass im Winter die erkaltete Luft sich gleich einem See in den Niederungen ansammelt und stagnirt, weshalb dort tiefe Temperatur herrscht; die an den Bergspitzen sich abkühlende Luft höherer Schichten sinkt an den Abhängen herab und verdichtet sich dabei, doch wird durch eben diese Verdichtung ihre Temperatur wieder erhöht und nun lagert sie sich als warme Luftschichte über dem kalten Luftsee im Thale und verschafft so den Abhängen mildere Temperaturen als im Thalgrunde herrschen, weshalb denn auch in jenen Gegenden die Ansiedlungen der Menschen viel mehr in der Höhe als im Thale angetroffen werden.

Das Höhenklima ist gegenüber dem Thalklima ausser durch seine Wärmeverhältnisse auch durch die Feuchtigkeitsverhältnisse ausgezeichnet. Die absolute Feuchtigkeit nimmt mit der Höhe rasch ab, so beträgt die mittlere Tension des Wasserdampfes pro Jahr <sup>1)</sup>:

1) HANN, Klimatologie. S. 177.

in Martigny . . .	( 500 Mt. Seehöhe) . .	6,8 Mm.
am Simplon . . .	(2010 „ „ ) . .	4,1 „
am Theodulpasse .	(3330 „ „ ) . .	2,6 „

Gleichwohl sind die Gebirgsgegenden reicher an Regen als die grossen Ebenen. Sowohl kühlen sich die aus entfernten Gegenden aufgestiegenen warmen und feuchten Luftmassen an den Spitzen der Berge ab und veranlassen so reichliche Bewölkung und Niederschläge, als auch entstehen häufig in den Thälern der Gebirge selbst solche Luftströme, die an den Bergen aufsteigend ihren Wassergehalt in Form von Wolken und Regen wieder abgeben.

Als Analogon zu den Land- und Seewinden können Berg- und Thalwinde aufgefasst werden, welche im Hochgebirge bei ruhigem Wetter deutlich hervortreten. Die Erwärmung der Bergabhänge und der Thalsohlen verursacht am Morgen einen aufsteigenden Luftstrom, der auf den Höhen deutlich als Wind empfunden wird; wenn dagegen Abends die Berge früher erkalten als die Thäler, so kühlt sich auch die Luft an ihnen ab und sinkt nun als Thalwind in die Niederungen herab. Selbstredend sind die Gebirge von grossem Einflusse auf die Luftströme, welche an dasselbe herantreten, indem sie deren Richtung zu ändern vermögen, indem sie für dahinter gelegene Orte als Schutzmauern dienen, so dass auf der einen Seite des Berges heftige Stürme wehen können, während auf der anderen Seite ruhigere Witterung herrscht.

Endlich tritt unter Umständen auch noch die Bewaldung eines Landes als klimatischer Factor in Wirksamkeit. Die Temperatur der Luft in grossen Waldungen ist geringeren Schwankungen unterworfen als die Temperatur auf freiem kahlen Lande. Die Wälder enthalten eine Luftschichte, welche durch die Kronen der Bäume mehr oder weniger isolirt wird und die deshalb nur langsam die grossen Veränderungen der freien Atmosphäre mitmacht. Die Luft im Walde ist während des Tages kühler als auf freiem Felde, Nachts wärmer; im Sommer verhindern die Baumkronen die intensive Bestrahlung durch die Sonne, im Winter die allzu energische Ausstrahlung der erhaltenen Wärme; ihr Wassergehalt ist zwar absolut ziemlich gleich dem der Luft im Freien, dafür aber ist sie wegen der niederen Temperatur höher mit Feuchtigkeit gesättigt als diese. Die Wälder verlangsamen somit die Verdunstung von Wasser aus dem Erdboden, sie halten atmosphärisches Wasser zurück, was nach der Entwaldung grosser Landstrecken eben nicht mehr möglich ist; werden solche Entwaldungen vorgenommen, so veröden die Länder, nicht etwa dadurch, dass die Niederschlagsmengen, die auf sie fallen, ge-

ringer werden, sondern dadurch, dass sie von der Sonne schnell wieder ausgetrocknet werden. Ueberdies entsteht über kahlem Lande im Sommer ein warmer aufsteigender Luftstrom, der viele Feuchtigkeit aufzunehmen vermag und dadurch manchen Regen verhindert, welcher auf bewaldete Landstrecken ergiebige Wassermassen ergiesst.

Die Verschiedenheiten der klimatischen Verhältnisse Deutschlands sind wesentlich durch seine Oberflächengestaltung, in zweiter Linie durch sein Verhalten zum Meere bedingt.

Betrachtet man eine Karte der mittleren Jahrestemperaturen <sup>1)</sup> des deutschen Reiches, so findet man die höchsten Temperaturen (über 10° C.) in den Thälern des Rheines, des Neckars, der Mosel und Maines, die niedersten in den grossen Gebirgsszügen der Alpen, des Erz- und Riesengebirges, im Thüringer- und Frankenwald, in der Rhön, im Harz und Schwarzwald. Die den Gebirgen zunächst gelegenen Landstriche und der ganze Osten, besonders die nordöstlich gelegenen Provinzen Preussens, zeigen niedrigere Jahrestemperaturen als das übrige Deutschland. Auch im Sommer <sup>2)</sup> erweisen sich die obengenannten Thäler als die wärmsten Theile Deutschlands und die Gebirgsszüge als die kältesten, und auch im Winter tritt dieses Verhältniss deutlich hervor; im Uebrigen erscheinen aber die Temperaturverhältnisse der grossen Ebenen des Reiches wesentlich durch die Temperaturen des atlantischen Oceans beeinflusst. Während des Winters haben die Gebiete an der Nordsee die höchsten Temperaturen (0—1°); nach Osten fortschreitend kommt man in immer kältere Gebiete, bis man im östlichsten Theile Preussens auf Temperaturen von —5 bis —6° stösst; je mehr entfernt von der Nordsee überhaupt ein Ort liegt, um so geringer ist seine Januartemperatur. Auch auf einer von der Küste der Nordsee quer durch Deutschland nach dem südöstlich gelegenen Salzburg hin gezogenen Linie findet man die gleiche Abnahme der Temperatur. Im Sommer verschwindet dagegen diese Vertheilung der Temperatur, die Nord- und Ostseeküste und ganz Nordwestdeutschland sind wenig kälter (im Mittel 16—17° C.), als die mehr südlich gelegenen Ebenen.

Entsprechend dem ausgezeichneten Verhalten der grossen Gebirge gegenüber der Temperaturvertheilung treten diese auch recht deutlich auf der Regenkarte Deutschlands <sup>3)</sup> hervor. Die Alpen mit schwäbisch-bayerischer Hochebene, Schwarzwald, Thüringer- und Frankenwald, Eifel, Sauerland und Harz sind die Gebiete höchsten Regenfalles, über 850 Mm. Jenes Stück des Rhein- und Mainthales, welches jahraus jahrein die höchsten Temperaturen aufweist, hat relativ geringe Niederschläge (400 bis 550 Ccm.). Andererseits ist aber der Osten Deutschlands ärmer an Niederschlägen als der Westen; eine Linie von Bremen nach Breslau gezogen führt successive durch Gebiete mit 850 Mm. Regen bis herab zu weniger als 400 Mm.; die vom atlantischen Ocean resp. dem Golfstromen kommenden warmen und feuchten Luftströme verlieren successive Wärme und Feuchtigkeit, je weiter sie nach Osten vordringen.

1) ANDREE u. PESCHEL, Physikal.-statist. Atlas des deutschen Reiches. Taf. III.

2) Ibidem. Tafel IV.

3) Ibidem. Tafel VI.



## ZWEITER THEIL.

## Hygienische Bedeutung der Luft.

Wie in der Einleitung bemerkt, steht der menschliche Organismus mit der ihn umgebenden Luft in verschiedenerlei Beziehungen. Einerseits findet beständig eine körperliche Berührung zwischen beiden statt, welche zu mannigfachen gegenseitigen Einwirkungen Veranlassung gibt, andererseits wird durch die Respiration ein lebhafter Verkehr zwischen beiden unterhalten, und endlich hat sich die Hygiene auch noch mit den verschiedenen indirecten Einwirkungen seitens der Luft auf andere, mit dem menschlichen Organismus in directer Beziehung stehende Factoren der Aussenwelt, z. B. Krankheitserreger, zu befassen. Alle diese Momente werden durch Schwankungen in der Zusammensetzung der Luft und durch Aenderungen ihrer physikalischen Eigenschaften in mannigfaltiger Weise alterirt, häufig genug zum Nachtheil der Gesundheit der Individuen, welche sich extremen Qualitäten der Luft freiwillig oder gezwungen exponiren.

Glücklicher Weise hat das Menschengeschlecht rein empirisch seit langem gelernt, eine grosse Menge der schädlichen Einflüsse von jener Seite her durch künstliche Vorrichtungen (Kleidung, Wohnung u. s. w.) zu paralysiren; aber noch bleiben mannigfache Nachtheile, welche zum Theil wiederum aus diesen Schutzmitteln erwachsen, zu bekämpfen. Einen solchen Kampf aufzunehmen und fortzuführen ist dem jetzigen Menschengeschlecht gegenüber früheren Generationen ganz wesentlich erleichtert durch die Fortschritte der Naturwissenschaften, speciell der Physiologie und Pathologie, deren Forschungsergebnisse sich zu Nutze machend die wissenschaftliche Hygiene die Bedeutung der atmosphärischen Luft für den menschlichen Organismus klar zu legen und Mittel zur Abwehr schädigender Einflüsse zu finden sich bestrebt.

Entsprechend der im ersten Theile getroffenen Eintheilung sollen im zweiten Theile die einzelnen Eigenschaften und Bestandtheile des Luftmeeres gesonderte Behandlung finden. Doch muss von vorn herein bemerkt werden, dass mit Rücksicht auf die Capitel Fermente, Wohnung, Arbeiterkrankheiten, Volkskrankheiten dieses Handbuchs einzelne Abschnitte kürzer gefasst werden mussten, als dies von einer Monographie erwartet werden konnte.

## 1. Sauerstoff und Stickstoff.

Sauerstoff und Stickstoff treten in der Respiration mit dem menschlichen Organismus in innigen Verkehr durch Contact mit dem durch die Lungencapillaren strömenden Blute.

Bei der Einwirkung von Gasen auf Flüssigkeiten sind gewisse feststehende Beziehungen maassgebend, insofern als sich bei inniger Berührung beider ein Gleichgewichtszustand herzustellen sucht, bei welchem jeder Wechselverkehr zwischen beiden aufhört, somit weder Gas von der Flüssigkeit absorbirt wird, noch aus ihr austritt. Dieser Gleichgewichtszustand ist zunächst abhängig von der Natur der Flüssigkeit und der des Gases — er ist für jedes Gas und jede Flüssigkeit ein verschiedener —, in zweiter Linie von der Temperatur der beiden Medien und drittens vom Drucke. Ist Gleichgewichtszustand zwischen Gas und Flüssigkeit einmal eingetreten, mit anderen Worten, die Flüssigkeit mit dem betreffenden Gase gesättigt, so hebt jede Aenderung eines der drei genannten Factoren denselben wieder auf und es erfolgt entweder Absorption neuer Gasmenigen oder Abgabe von Gas aus der Flüssigkeit behufs Herstellung eines neuen Gleichgewichtszustandes.

Bei der Respiration der Menschen in normaler atmosphärischer Luft stellt sich nur für den Stickstoff ein Gleichgewichtszustand des Blutes her; so lange Luftdruck und Körpertemperatur unverändert bestehen bleiben, wird vom Blute Stickstoff weder aufgenommen noch abgegeben. Im venösen und arteriellen Blute findet man im Mittel 1,8 % Stickstoff <sup>1)</sup>, welche Menge gemäss dem Absorptionscoefficienten <sup>2)</sup> des Gases im Blute zu erwarten ist. Letzteren bestimmte LOTHAR MEYER <sup>3)</sup> zu 0,02 bei 26° für defibrinirtes Schweineblut und ZUNTZ <sup>4)</sup> berechnete ihn zu 0,013 bei Körpertemperatur.

Bei Verminderung des Stickstoffgehaltes der Luft wird auch der Stickstoffgehalt des Blutes vermindert; im Blute eines Thieres, das nur kurz ein stickstofffreies Gemisch von Sauerstoff und Kohlensäure geathmet hatte, konnte PFLÜGER <sup>5)</sup> keinen Stickstoff mehr auffinden; beim Auspumpen der Gase aus Blut entweicht denn auch aller Stickstoff mit den ersten Portionen Gas. PAUL BERT <sup>6)</sup> fand

1) ZUNTZ, Hermann's Physiol. Bd. 4. Abth. 2. S. 63.

2) Unter dem Ausdrücke Absorptionscoefficient hat man das auf 0° und 760 Mm. Druck reducirte Gasvolumen zu verstehen, welches von der Volumeneinheit Flüssigkeit bei 760 mm Druck absorbirt wird.

3) L. MEYER, Die Gase des Blutes. Göttingen 1857. S. 56.

4) ZUNTZ, Hermann's Physiol. Bd. 4. Abth. 2. S. 16.

5) PFLÜGER's Archiv. Bd. 1. S. 104.

6) PAUL BERT, La pression barométrique. Paris 1878. p. 964.

die Gasblasen, welche bei plötzlich erfolgender starker Verminderung des Luftdruckes in den Blutgefäßen lebender Thiere auftreten und schnell den Tod herbeiführen können, zu 80 bis 85% aus Stickstoff bestehend; der Rest war Kohlensäure, in einem Versuche mit etwas Sauerstoff gemischt.

Eine Zunahme des Stickstoffgehaltes der Luft hat auch eine Vermehrung der Stickstoffmenge im Blute zur Folge, wie Versuche von PAUL BERT<sup>1)</sup> am lebenden Thiere dargethan haben, deren Resultate in Tabelle LVI und Figur 23 dargestellt sind.

Allerdings gehen hierbei die Mengen Stickstoff im Blute des lebenden Thieres nicht proportional mit der Druckerhöhung, doch würde eine solche nach dem Gesetz von HENRY DALTON zu erwartende Proportionalität, wie sie durch die Linie A in Fig. 23 ausgedrückt ist, aufgefunden worden sein, wenn seine Versuche lange genug gedauert hätten, um dem Blute Zeit zu lassen, sich unter dem gegebenen Drucke vollkommen zu sättigen.

Eine besondere hygienische Bedeutung ist der Verminderung oder Vermehrung des Stickstoffes im Blute nicht zuzuschreiben, da dieses Gas im Körper keinerlei Verbindungen eingeht;

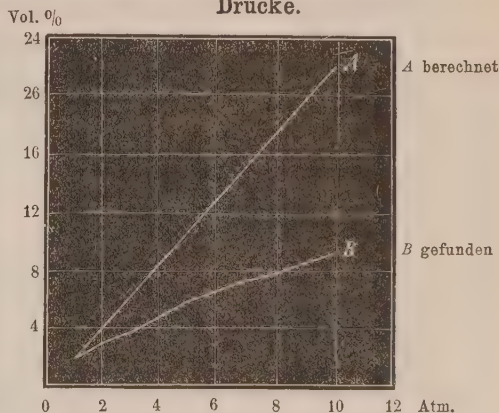
nur in dem extremen Falle, in welchem durch plötzliche starke Verminderung des Luftdruckes eine Entweichung des Gases aus dem Blute innerhalb des Kreislaufsystems in Form von Gasblasen statt-

TABELLE LVI.

Druck in Atmosphären	Stickstoffgehalt	
	gefunden	berechnet
1	2,2	2,2
2	3	4,4
3	3,9	6,6
5	6	11,0
7	7	15,4
10	9,4	22,0

Fig. 23.

Zunahme des N im Blute bei zunehmendem Drucke.



1) PAUL BERT, La pression barométrique. Paris 1878. p. 660.

findet, kann durch diesen Vorgang dem Organismus ernste Gefahr gebracht werden, indem Kreislaufsstörungen entstehen, wovon noch unter „Luftdruck“ des Weiteren die Rede sein wird (s. unten).

Etwas anders gestalten sich die Verhältnisse beim Sauerstoff. Obwohl auch dieser nach den Gesetzen der Absorption in das Blut gelangt, so stehen doch die Mengen des Gases, welche sich jeweilig im Blute vorfinden, nicht im Verhältniss zum Sauerstoffgehalte der Luft, sondern sind erheblich grösser; es rührt dies bekanntlich daher, dass das Hämoglobin der Blutkörperchen Sauerstoff chemisch bindet, somit bis zur Sättigung des Hämoglobins mit Sauerstoff immer wieder neue Mengen des Gases absorbiert werden können. Das Blut im arteriellen Theile des Kreislaufes ist jedoch nie vollständig mit Sauerstoff gesättigt, sondern nur etwa zu 9 Zehnthellen, und kommen sehr beträchtliche Abweichungen vom Sättigungszustande vor, was wohl hauptsächlich in einer mehr oder weniger vollkommenen Lüftung der Lungenalveolen begründet ist. Eben aus einer Arterie entleertes Blut kann mit Luft unter gewöhnlichem Drucke geschüttelt noch 1 bis 2% Sauerstoff aufnehmen (PFLÜGER)<sup>1)</sup>, nach EWALD<sup>2)</sup> 1,6%, während Blut apnöischer Hunde nur noch 0,2 bis 0,4% aufzunehmen vermag.

Tabelle LVII gibt eine Uebersicht über die von verschiedenen Autoren im arteriellen Blute unter normalen Verhältnissen gefundenen Sauerstoffmengen in Volumprocenten.

TABELLE LVII.  
Sauerstoffgehalt des arteriellen Blutes<sup>3)</sup>.

		%
Menschenblut nach SETSCHENOW . . . . .		21,6
Hundeblut; 12 Versuche nach PFLÜGER . . . . .	Minimum	18,7
	Mittel	22,6
	Maximum	25,4
do. 44 Versuche von SETSCHENOW, SCHÖFER, SCZELKOW, NAWROCKI, HIRSCHMANN, SAX und PFLÜGER . . . . .	Minimum	11,4
	Mittel	18,3
	Maximum	24,7
do. 27 Versuche von PFLÜGER, worunter 2 von HIRSCHMANN . . . . .	Minimum	13,6
	Mittel	18,4
	Maximum	24,6
do. 100 Versuche von PAUL BERT . . . . .	Minimum	14,4
	Mittel	19,4
	Maximum	26,4

1) PFLÜGER's Archiv. Bd. 1. S. 70.

2) EWALD, Ueber die Apnoe. Archiv f. d. ges. Physiologie. Bd. 7. S. 575.

3) ZUNTZ, Hermann's Physiologie. Bd. 4. Abth. 2. S. 35.



Die absolute Menge Sauerstoff, welche das Gesamtblut aufnehmen vermag (bei gewöhnlichem Luftdruck und Körpertemperatur), ist abhängig von seinem Hämoglobingehalt. Diejenige Menge, welche im Plasma einfach nur absorbiert enthalten ist, ist nur sehr gering, sie beträgt nach PAUL BERT<sup>1)</sup> bei 1 Atmosphäre Druck etwa 6,4 % der Gesamtmenge, welche bei vollkommener Sättigung im Blute vorhanden ist.

Da das Hämoglobin schon bei 1 Atmosphäre mit Sauerstoff gesättigt werden kann und alsdann bei Zunahme des Druckes keine weiteren Mengen Sauerstoff zu binden vermag, so konnte PAUL BERT, indem er Blut ein und desselben Thieres unter verschiedenem Drucke bis zu 18 Atmosphären mit Luft schüttelte, aus der Zunahme seines Sauerstoffgehaltes berechnen, wieviel Sauerstoff bei normalem Druck einfach absorbiert war; von 14,9 % Sauerstoff trafen 13,95 % Sauerstoff auf das Hämoglobin und 0,95 % i. e. 6,4 % der Gesamtmenge auf das Plasma.

Dagegen sind die Mengen Sauerstoff, welche vom Blute innerhalb einer gewissen Zeit wirklich aufgenommen werden, abhängig von der Grösse der Zersetzungs Vorgänge in den Organen. Während man früher glaubte, dass der Sauerstoff in das Blut eindringe und nun im Körper die Zersetzungs Vorgänge einleite, ist man in neuerer Zeit hauptsächlich durch die Arbeiten von PETTENKOFER und VOIT und PFLÜGER zu der Ueberzeugung gelangt, dass die Zersetzungs Vorgänge die Sauerstoffaufnahme reguliren und nicht umgekehrt. Würde der Sauerstoff die Zersetzungs Vorgänge im Körper verursachen, so müssten die einzelnen Stoffe im Körper nach ihrer Affinität zum Sauerstoff angegriffen werden, also zuerst das Fett, dann die Kohlehydrate und zuletzt die stickstoffhaltigen Substanzen, während nach den zahlreichen Versuchen von PETTENKOFER und VOIT gerade das Eiweiss in grösster Menge zerstört wird, das Fett aber viel schwerer zerfällt und von einer gewissen Grenze an unverändert abgelagert wird. Die Zersetzungs Vorgänge im Körper sind für gewöhnlich keine einfachen Oxydationsprocesse, sondern es spalten sich zunächst unabhängig vom Sauerstoff complicirte chemische Verbindungen in ihre Componenten (Dissociation) entweder geradeauf ohne Zutritt eines Stoffes (einfache Spaltung) oder unter Aufnahme von Wasser (hydrolytische Spaltung) oder unter Aufnahme von Sauerstoff (oxydative Spaltung). Ja es können nebenbei sogar synthetische und reductive Processe vorkommen; im Grossen und Ganzen aber handelt es sich um Zerfallsprocesse oxydativer Natur, da als schliessliches Resultat sauerstoffreichere Endproducte auftreten (VOIT<sup>2)</sup>).

1) PAUL BERT, *La pression barométrique*. p. 699.

2) VOIT, *Hermann's Physiologie*. Bd. 6. Abth. 1. S. 279—286.

Eine Uebersicht über die vom Menschen unter verschiedenen Verhältnissen aufgenommenen absoluten Mengen Sauerstoff gibt Tabelle LVIII, welche aus Respirationsversuchen von PETTENKOFER und VOIT<sup>1)</sup> extrahirt wurde. Es kamen zwei verschiedene Individuen in Betracht, Mann I, ein kräftiger eiweissreicher Arbeiter, 71 Kilo schwer, und Mann II, ein herabgekommener 53 Kilo schwerer Schneider, von denen der erstere bei verschiedener Ernährungsweise ab-

TABELLE LVIII.

**Sauerstoffaufnahme beim Menschen in Grammen.**

	Tag	Nacht	Summa
Mann I. Bei Hunger . . . . . in Ruhe	450	330	780
"       "	—	339	—
"       "	420	323	743
bei Arbeit	922	150	1072
Bei mittlerer Kost . . . . . in Ruhe	235	474	709
"       "	469	450	919
"       "	418	449	867
bei Arbeit	295	660	955
"       "	795	211	1006
Bei eiweissreicher Kost . . . in Ruhe	632	218	850
"       "	566	310	876
Bei eiweissfreier Kost . . . in Ruhe	523	285	808
"       "	556	—	—
Bei gleicher Kost Morg. u. Abds. in Ruhe	397	453	850
Mann II. Bei mittlerer Kost . . . in Ruhe	379	222	601

wechselnd bei Ruhe und bei Arbeit untersucht wurde. Man kann demnach annehmen, dass ein erwachsener, kräftiger Mann am Tage bei Ruhe durchschnittlich 822 Grm. Sauerstoff = 575 Liter und bei Arbeit 1010 Grm. = 700 Liter Sauerstoff aufnimmt. (Bezüglich des Unterschiedes zwischen Tag und Nacht vergl. die Lehr- und Handbücher der Physiologie.)

*Verminderung des Sauerstoffgehaltes der Luft.*

Eine einigermaassen erhebliche Verminderung des Sauerstoffgehaltes der Luft gelangt nur in seltenen Fällen zur Einwirkung auf den Menschen; es geschieht dies einmal bei Erhebung in höhere Luftschichten und unter Umständen in geschlossenen Räumen, wo irgend welche chemische Vorgänge der Luft viel Sauerstoff entziehen. Die Erscheinungen, welche hierbei beobachtet werden, sind aber meist von einer Anzahl anderer Factoren begleitet, deren Einfluss nur schwer zu isoliren ist, so concurriren bei Bergbesteigungen die

1) Zeitschrift für Biologie. Bd. 2. S. 546.

vermehrte Muskelthätigkeit und Abnahme der Temperatur, in geschlossenen Räumen die Beimengung anderer Gase an Stelle des verbrauchten Sauerstoffs u. s. w. Es muss daher eine eingehende Erörterung der charakteristischen Erscheinungen der Bergkrankheit, Minenerkrankung u. a. auf spätere Abschnitte verschoben werden. Hier kann es sich nur um den Einfluss der Sauerstoffverminderung an sich handeln, und hierfür sind eigentlich nur die Erfahrungen der Luftschiffer maassgebend, da sie in grosser Menge vorliegen und in guter Uebereinstimmung mit den wenig zahlreichen Experimenten an Thieren und Menschen zum Studium dieser Frage stehen.

Geringe Erhebungen im Luftballon, ja auch die Besteigung niederer und mittelhoher Berge bringen nur wenig bemerkliche Veränderungen im Organismus hervor. Die Grenze, bei welcher ernstliche Störungen auftreten, liegt für verschiedene Individuen sehr verschieden, wie aus einer Zusammenstellung BERT's <sup>1)</sup> über die Erfahrungen der Luftschiffer deutlich hervorgeht. Doch kann man sagen, dass erst in Höhen von mehr als 4000 Mt. (also bei einem Drucke von 460 Mm. und einem Sauerstoffgehalte entsprechend einer Luft von 12,6% Sauerstoff bei 760 Mm. Druck) Krankheitserscheinungen auftreten.

Die physiologischen Veränderungen, welche bis zur Erreichung jener schädlichen Grenze auftreten, sind Beschleunigung der Pulsfrequenz und der Respiration, wie sie von allen Luftschiffern übereinstimmend angegeben werden und auch bei Experimenten am Menschen in pneumatischen Apparaten tagtäglich beobachtet werden. Beschleunigung des Blutlaufs und Vergrösserung der Ventilation der Lungen sind die Mittel, welche dem Organismus bis zu einer gewissen Grenze der Sauerstoffverminderung zu Gebote stehen, um sich gegen eine mangelhafte Zufuhr dieses Gases zu schützen.

Das Blut verarmt bei vermindertem Drucke an Sauerstoff, wie Versuche von PAUL BERT an Thieren, von SPECK an Menschen darthun. Ersterer <sup>2)</sup> brachte Thiere unter verminderten Luftdruck in einer Weise, dass er nach Belieben Blut aus einer Arterie extrahiren konnte und fand folgenden Sauerstoffgehalt des Blutes als Mittel aus einer grösseren Reihe von Versuchen und nach Reduction auf einen Normalsauerstoffgehalt des Blutes von 20 %.

760 Mm. Druck = 20,9 % Sauerstoff <sup>3)</sup> in der Luft	waren im Blute	20 % Sauerstoff
560 " " = 15,4 " " " " " " " "	" " " " " " " "	17,4 % "
450 " " = 12,4 " " " " " " " "	" " " " " " " "	15,9 " "
340 " " = 9,3 " " " " " " " "	" " " " " " " "	12,0 " "
250 " " = 6,9 " " " " " " " "	" " " " " " " "	9,7 " "
170 " " = 4,7 " " " " " " " "	" " " " " " " "	7,0 " "

1) La pression barom. p. 179. 2) Ibidem. p. 630 u. ff. 3) Von normalem Druck.

Mit diesen Beobachtungen harmoniren die neueren Versuche von FRÄNKEL und GEPPERT<sup>1)</sup> nicht vollständig. Wohl fanden auch sie eine Verarmung des Blutes ihrer Versuchsthiere bei abnehmendem Drucke, allein die Grenze, bei welcher diese Verarmung beobachtet wurde, lag in ihren Versuchen viel tiefer als bei PAUL BERT. Während dieser schon bei einem Drucke von 560 Mm. (entsprechend 15,4% Sauerstoff<sup>2)</sup>) eine Abnahme des Blutsauerstoffs constatirte, gaben sie als Grenze, unterhalb welcher erst sicher eine Abnahme der Menge Sauerstoff im Blute auftritt, 410 Mm. an (entsprechend 11,3% Sauerstoff<sup>2)</sup>). Bei dem Drucke einer halben Atmosphäre (380 Mm.) trat bei ihren Versuchen immer mit Sicherheit eine Verminderung des Sauerstoffs hervor, welche aber nach ihrer Meinung vielleicht noch durch erhöhte Respirationsthätigkeit ausgeglichen werden kann. Aehnlich verhielt sich in ihren Versuchen der Kohlensäuregehalt des Blutes. Erst bei einem Drucke von einer halben Atmosphäre sank derselbe wohl in Folge der durch die Erhöhung der Respirationsthätigkeit bedingten ausgiebigeren Ventilation der Lungenalveolen, wozu vielleicht noch hinzukommt, dass die Verminderung der Sauerstoffaufnahme in das Blut auch eine Verminderung der Oxydationsvorgänge im Körper zur Folge hat.

SPECK<sup>3)</sup> hat im Menschen den Gaswechsel unter normalem Luftdruck, aber bei verschiedenem Sauerstoffgehalt der Luft beobachtet und dabei folgende Werthe erhalten:

TABELLE LIX.

Inspirirte Luft		Sauerstoff in 1 Minute ins Blut aufgenommen	Stickstoff in 1 Minute	
Sauerstoff	Stickstoff		aufgenommen	abgegeben
%	%	Ccm.	Ucm.	Ccm.
9,16	90,84	49,09	43	—
10,00	90,00	46,16	78	—
10,92	89,08	42,13	55	—
13,27	86,73	53,57	33	—
20,50	79,50	64,43	27	—
20,58	79,42	66,10	30	—
23,73	76,27	65,57	—	31
27,91	72,09	62,54	—	6
31,28	68,72	72,41	—	58
42,16	57,84	79,00	—	117
42,73	57,27	85,59	—	153
50,42	49,58	101,61	—	152
63,48	36,52	106,06	—	176

1) FRÄNKEL und GEPPERT, Ueber die Wirkungen der verdünnten Luft auf den Organismus. 1883.

2) Von normalem Druck (760 Mm.).

3) SPECK, Kritische und experimentelle Untersuchungen über die Wirkungen des veränderten Luftdrucks auf den Athemprocess. Kassel 1878.



Leider war die Versuchsdauer eine sehr kurze, zwischen  $4\frac{1}{4}$  und 6 Minuten. Immerhin ergaben dieselben aber die Thatsache, dass bei geringem Sauerstoffgehalt der Luft auch relativ weniger Sauerstoff ins Blut aufgenommen wird, als bei höherem. Bei längerer Dauer der Versuche wären sicher die Differenzen sehr beträchtlich heruntergegangen, da dem Organismus, wie schon erwähnt, in der Beschleunigung von Respiration und Herzaction Mittel zu Gebote stehen, sich gegen einen Mangel an Sauerstoff zu schützen. (Die für die Stickstoffaufnahme resp. -Abnahme angeführten Zahlen, Tab. LIX, illustriren recht anschaulich das oben angeführte Verhalten dieses Gases gegenüber dem Blute bei Zunahme oder Abnahme seiner Menge in der Luft.)

Ueber Zunahme von Puls- und Respirationsfrequenz haben besonders die neuen Ballonfahrten von GLAISHER, CROCÈ-SPINELLI, SIVEL, TISSANDIER u. A., sowie die Versuche von PAUL BERT am Menschen und die Versuche der Pneumotherapie hinlänglich Material ergeben; um nur einige Zahlen anzuführen, mögen folgende Beobachtungen dienen. Bei einer Auffahrt mehrerer französischer Gelehrter (im April 1873) wurden nachstehende Veränderungen der Herz- und Athemrhythmik und zwar in 4000 Mt. Höhe i. e. bei einem Sauerstoffdrucke der Luft von 12,6 Mm. beobachtet:

TABELLE LX.

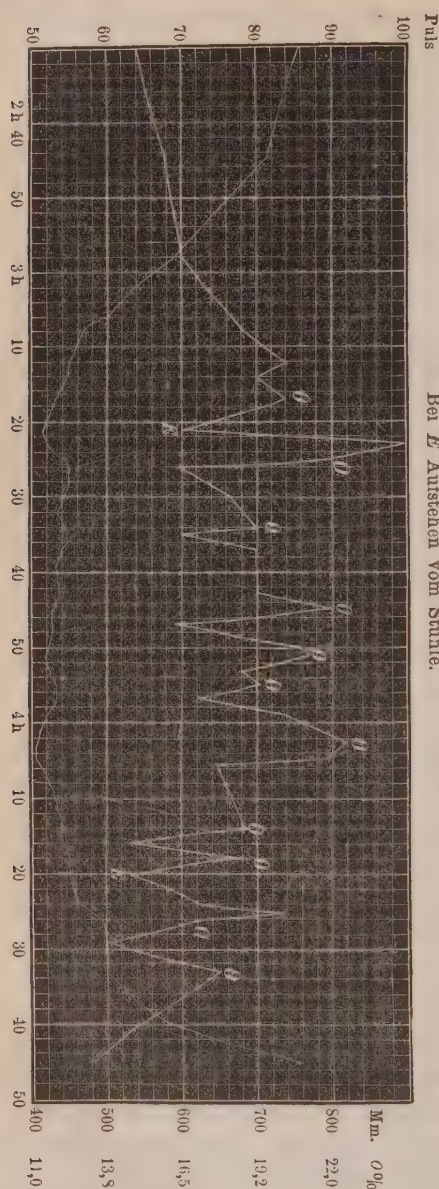
**Einfluss der Sauerstoffverminderung auf verschiedene Individuen.**

Name	Auf der Erde		Etwas über 4000 Mt.	
	Respiration	Puls	Respiration	Puls
JAUBERT . . .	10	100	20	130
PÉNAUD . . .	25	68	45	104
CROCÈ - SPINELLI	40	72	64	116
SIVEL . . . .	25	80	40	108
PETARD . . . .	26	87	35	110
Mittel . . . .	25	82	41	114

Zum Vergleich mögen die Versuche von PAUL BERT <sup>1)</sup> an sich in dem pneumatischen Apparate, dessen Luft beliebig verdünnt werden konnte, hier folgen. Sie bieten auch deshalb besonderes Interesse dar, weil sie zugleich den Beweis darbringen, dass nur der Sauerstoffmangel die Pulsbeschleunigung bedingt. BERT hatte in die Kammer ein Reservoir mit Sauerstoff mitgenommen, aus welchem

1) PAUL BERT l. c. p. 202.

er zeitweise oder continuirlich Sauerstoff inspirierte, wodurch jedesmal der Puls erheblich verlangsamt wurde, wie besonders die Curven



der Pulsfrequenz in Fig. 24 u. 25 deutlich erkennen lassen. Er konnte in Folge dieser Anordnung ganz gut einen sehr geringen Druck aushalten, der ohne dieselbe gefährlich geworden wäre.

In Figur 24 sind die Zahlen der Tabelle (LXI) und noch einige weitere, deren Aufführung hier zu weit führen würde, graphisch dargestellt. Ebenso ist in Fig. 25 die Pulsfrequenz im luftverdünnten Raume anfangs ohne, später mit Anwendung von Sauerstoffinspiration nach BERT gezeichnet. Bezüglich der Zahlen muss auf das Original (S. 759) verwiesen werden.

Mit der Zunahme der Pulsfrequenz geht eine, wenn auch nicht so beträchtliche Erhöhung des Blutdrucks einher. FRIEDLÄNDER und HÄRTER<sup>1)</sup> fanden bei Versuchen an Thieren, welchen sie sauerstoffarme Gasgemische

1) Zeitschrift für physiologische Chemie. Bd. 3. S. 31.

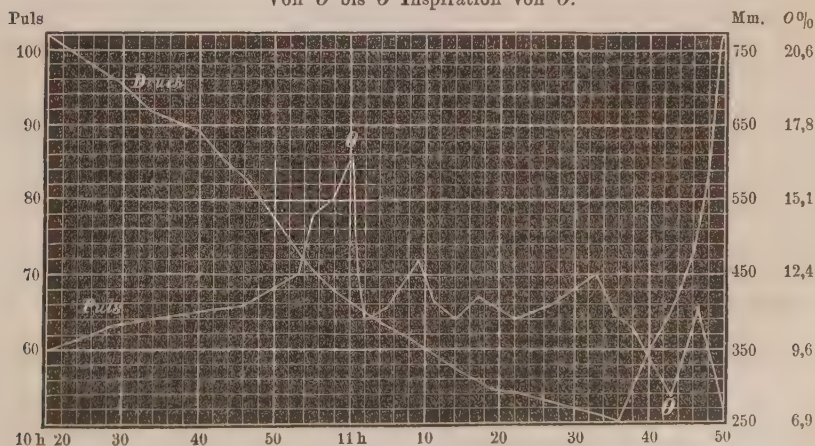
TABELLE LXI.  
Pulsfrequenz in verdünnter Luft.

Zeit	Druck	Entsprechender Sauerstoffgehalt der Luft	Pulsfrequenz pro 1 Minute	Bemerkungen
2 h 30 m	758	20,8	64	
2 h 37 m	—	—	—	
2 h 45 m	710	19,5	68	Beginn der Verdünnung.
2 h 58 m	590	16,2	70	
3 h 8 m	465	12,8	78	
3 h 12 m	450	12,3	84	Etwas Uebelkeit.
3 h 17 m	430	11,8	84	3 Inspirationen O.
3 h 21 m	418	11,5	70	
3 h 23 m	420	11,5	100	BERT steht vom Stuhle auf, setzt sich wieder. 1 Insp. O.
3 h 26 m	460	12,6	70	
3 h 30 m	440	12,0	76	
3 h 34 m	445	12,2	80	1 Insp. O.
3 h 35 m	445	12,2	70	
3 h 37 m	436	11,9	80	
3 h 43 m	435	11,9	80	
3 h 45 m	423	11,6	90	Mehrere Insp. O.
3 h 47 m	423	11,6	69	

Fig. 25.

Pulsfrequenz in verdünnter Luft.

Von O bis O Inspiration von O.



(Luft + Wasserstoff) durch eine Trachealcantile athmen liessen, den Blutdruck constant höher, wie folgende Zahlen aus ihrer Tabelle II beweisen:

TABELLE LXII.

Sauerstoff- gehalt der Inspirations- luft	Blutdruck		
	bei Beginn des Versuches	Maximum während des Versuches	Differenz
%	Mm.	Mm.	Mm.
1,5	105—125	150—160	40
1,5	95—105	150—165	57
2,2	105—115	170—190	70
2,6	100—120	130—170	40
2,7	110—125	170—180	58
2,9	120—125	185—195	68
3,8	105—115	140—142	31
4,0	122—132	160—162	34
5,1	105—120	150—160	43
12,7	110—120	120—130	10

FRÄNKEL und GEPPERT<sup>1)</sup> haben neuestens den Blutdruck an Thieren beobachtet, welche in einem Respirationsapparate, dessen Luftkammer durch beliebig zu verdünnende Luft ventilirt wurde, in geeigneter Weise untergebracht waren. Hierbei ergab sich ein nur langsames Ansteigen des Blutdrucks, welches erst bei einer Luftverdünnung von 40 Cm. (= 11,5 % Sauerstoff) eintrat; bei 20 Cm. Druck (= 5,8 % Sauerstoff) wurde der Blutdruck wieder normal und sank unterhalb dieser Grenze mit Verlangsamung des Pulses.

Auch bei längerer Dauer des Aufenthaltes in höher gelegenen Gegenden lässt sich eine erhöhte Pulsfrequenz constatiren, die ebenfalls auf Verminderung des Sauerstoffs in verdünnter Luft zurückzuführen ist. Von besonderem Interesse erscheinen in dieser Beziehung die Resultate von MERMOD<sup>2)</sup>, welcher in Strassburg, Erlangen, Lausanne und St. Croix an sich selbst unter möglichst gleichen Bedingungen Beobachtungen anstellte und zwar jeweilig erst nach einer einundeinhalbmonatlichen Anwesenheit in jenen Städten. Beifolgende Tabelle enthält sowohl die Höhe der Beobachtungsorte, als die Zahl der einzelnen Beobachtungen, die Pulsfrequenz und endlich auch den Sauerstoffgehalt der Luft entsprechend dem Barometerstande, wie er sich aus der Formel  $H = 18363 \times \log \frac{B}{b}$  (S. 92) berechnet.

Ueber die Verhältnisse der Bewohner noch höher gelegener Orte als die eben erwähnten (von 2000 Mt. angefangen) gibt JOURDANET<sup>3)</sup>

1) L. c. S. 12.

2) Nouvelles recherches sur l'influence de la depression barométrique. Diss. Lausanne 1877.

3) Influence de la pression de l'air sur la vie de l'homme. Paris 1875. Bd. 1 u. 2.



TABELLE LXIII.  
Pulsfrequenz in verschiedenen Höhen.

	1. Höhe über dem Meere	2. Sauerstoff- <sup>1)</sup> gehalt der Luft	3. Anzahl der Beobachtungen	4. Pulsfrequenz
St. Croix . . .	1106 Mt.	18,2	896	68,71
Lausanne . . .	614 "	19,3	473	68,09
Erlangen . . .	343 "	20,0	840	65,26
Strassburg . . .	142 "	20,5	287	64,90

ausführlichen Bericht, worauf später unter Klima noch zurückzukommen ist. Es sei hier nur die Thatsache erwähnt, dass, während Menschen, die in geringer Höhe über dem Meeresspiegel wohnten, französische und belgische Soldaten gelegentlich der französischen Expedition nach Mexiko unter dem Einfluss der hohen Lage Mexikos (Mexiko liegt 2200 Mt. über dem Meeresspiegel) zu leiden hatten, die Bewohner dieser Gegenden ein vollständig normales Verhalten zeigten. Es gibt also eine Gewöhnung an den für Thalbewohner ungewohnten Mangel an Sauerstoff auf Hochplateaus. Alle Reisenden, welche in jene höheren Gegenden sich erheben, beobachten an sich die schon beschriebene Respirationsbeschleunigung, Ermüdung, beschleunigte Herzaction; dagegen werden diese Symptome bei den Eingeborenen nicht mehr wahrgenommen. Von diesen wird aber berichtet, dass ihr Organismus sich dadurch den ungünstigen Einflüssen des verminderten Druckes adaptirte, dass der Thorax sich erweiterte. Da bei Verminderung des Sauerstoffdruckes die Diffusionsgeschwindigkeit für dieses Gas herabgesetzt wird, so müssen tiefere Respirationen erfolgen, um die Lungenoberfläche zu vergrössern. Erweitert sich überdies noch das Capillarnetz der Lungen, so wird in demselben die Geschwindigkeit des Blutstromes herabgesetzt und damit die Möglichkeit gegeben, dem Blute auch bei geringem Sauerstoffdruck dennoch genügend Sauerstoff zuzuführen<sup>2)</sup>. Werden die oben beschriebenen Veränderungen des Organismus constant, so ist dadurch eine Gewöhnung an den verminderten Sauerstoffgehalt erreicht. Natürlich gibt es jedoch eine obere Grenze, bei welcher ein ständiger Aufenthalt und ein normaler Ablauf aller Lebensfunctionen nicht mehr möglich ist und diese Grenze scheint bei einer Höhe von ca. 5000 Mt. zu liegen (entsprechend 11,2 % Sauerstoff<sup>1)</sup>). Schon bei Annäherung an diese obere Grenze beobachtet man schwächliche Constitution der Bewohner so hoch gelegener Gegenden, verminderte Resistenz gegen Krankheitseinflüsse, verminderte Leistungsfähigkeit.

1) Von normalem Druck.    2) HOPPE-SEYLER, Physiologische Chemie. S. 552.

JOURDANET bezeichnet diesen Zustand als Anoxyhämie, welcher in nur ungenügender Sättigung des Blutes mit Sauerstoff bestehen soll. (Vergleiche den Abschnitt Klima.)

Die Beobachtungen über den Stoffwechsel bei vermindertem Sauerstoffgehalt der Luft, so zahlreich als dieselben bis jetzt angestellt sind, widersprechen sich noch in vielfacher Weise. PAUL BERT (l. c.) hatte bei mehrstündiger Einwirkung verminderten Luftdruckes eine verminderte Harnstoffausscheidung an seinen Versuchsthieren nachgewiesen, welche bis zu 50 % betrug, wurde aber von FRÄNKEL kritisiert und widerlegt, indem in dessen Versuchen eine geringe Vermehrung der Stickstoffausscheidung bei Verminderung des Druckes bis zu  $\frac{1}{2}$  Atmosphäre hervortrat. Neuere Versuche von FRÄNKEL und GEPPERT<sup>1)</sup> haben ein Gleichbleiben oder geringe Verminderung der Stickstoffausscheidung an den Versuchstagen bei Hunden, welche im N-Gleichgewicht waren, ergeben, an den darauf folgenden Tagen war jedoch ausnahmslos mehr N im Harn und zwar um so viel mehr, dass eine constante Mehrausgabe von N durch den Harn unter dem Einflusse verdünnter Luft abgeleitet werden konnte. Es dürfte dies das einzige sichere Resultat der vielen in dieser Richtung angestellten Versuche sein. Die Kohlensäureabgabe bleibt dagegen unverändert, so lange der Organismus im Stande ist, noch die nöthige Sauerstoffmenge aufzunehmen.

Die dem Organismus zu Gebote stehenden Hilfsmittel der Beschleunigung und Vertiefung der Respiration und der Erhöhung der Herzthätigkeit vermögen aber auch nur bis zu einer gewissen Grenze vor tödtlicher Verarmung des Blutes an Sauerstoff zu schützen. Gefahrdrohende Erscheinungen, Athemnoth, Schwindel, Uebelkeit, Ohnmachtsgefühl treten bei 11—12 % Sauerstoff in der Inspirationsluft auf, der Tod erfolgt je nach der Schnelligkeit des Ueberganges aus sauerstoffreicherer in ärmere Luft bei verschiedenem Sauerstoffgehalte. CROCE-SPINELLI und SIVEL<sup>2)</sup> starben im Luftballon bei 260 Mm. Druck, entsprechend einem Gasgemische mit 7,2 % Sauerstoff. Vorübergehend werden viel geringere Sauerstoffgehalte der Athemluft ertragen, ohne den lethalen Ausgang zur Folge zu haben. So athmeten in den Versuchen von FRIEDLÄNDER und HERTER<sup>3)</sup> Hunde in

Luft von 5,1 % O 11 Minuten 20 Secunden lang

"	"	4,0 %	"	15	"	—	"	"
"	"	3,8 %	"	11	"	30	"	"
"	"	2,6 %	"	15	"	30	"	"

1) FRÄNKEL und GEPPERT l. c. S. 100.

2) PAUL BERT l. c. p. 1060.

3) Zeitschrift für physiologische Chemie. Bd. 73. 1878. S. 19.

ohne zu sterben, doch wurden sie bis nahe an die Grenze der Asphyxie gebracht. Andere starben bei Einathmung

von Luft mit 2,9 % O nach 13 Minuten — Secunden							
"	"	"	2,7 %	"	"	21	" 30
"	"	"	2,2 %	"	"	7	" —
"	"	"	1,5 %	"	"	5	" —

Der Tod tritt in geschlossenen Räumen, in welchen keine Ventilation stattfindet, erst ein, wenn der Sauerstoffgehalt der Luft auf 3—4 % gesunken ist, wie MÜLLER<sup>1)</sup>, STROGANOW<sup>2)</sup>, HOPPE-SEYLER<sup>3)</sup> und BERT<sup>4)</sup> übereinstimmend nachgewiesen haben. Letzterer dehnte die Versuche der früheren Autoren dahin aus, dass er die Thiere in geschlossene Räume mit verschieden verdünnter Luft brachte und nach ihrem Tode die Zusammensetzung dieser Luft untersuchte. Uebereinstimmend fand er dabei, dass auf normalen Luftdruck berechnet die Luft bei Eintritt des Todes 3,5 % (Maximum 4,5 %, Minimum 3,0 %) Sauerstoff enthielt.

Durch diese Zahlen ist jedoch durchaus keine Grenze angegeben, oberhalb welcher das Leben noch bestehen kann; sie besagen nur, dass bei Eintritt des Todes der Sauerstoffgehalt bis auf ca. 3,5 % aufgezehrt war. Darüber, bei welchem Sauerstoffgehalte der Luft der Mensch noch bestehen kann, geben sie keinen Aufschluss, auch liegen hierfür keine Beobachtungen vor; man weiss nur, dass menschliche Wohnsitze noch in Höhen von 5000 Mt. vorkommen, woselbst der Luftdruck nur mehr 352 Mm. (s. o. S. 93), mithin der Sauerstoffgehalt der Luft 9,7 % beträgt. Man wird also nicht weit fehl gehen, wenn man annimmt, dass die Grenze, welche vom Menschen nicht oder nur vorübergehend überschritten werden darf, zwischen diesen 9,7 % und 7,2 %, bei welchen SIVEL und SPINELLI starben, TISSANDIER aber am Leben blieb, gelegen ist.

### *Erhöhung des Sauerstoffgehaltes der Luft.*

Die Erhöhung des Sauerstoffgehaltes der Luft ist von geringer hygienischer Bedeutung, da sie nur, wie im I. Theile des Abschnitts gezeigt wurde, bei gewissen Arbeiten, welche in comprimierter Luft vorgenommen werden, vorkommt; allerdings handelt es sich hierbei manchmal um einen Druck von 5—7 Atmosphären.

1) Annalen der Chemie und Pharmacie. Bd. 108. 1858. S. 311.

2) Archiv für die gesammte Physiologie. Bd. 12. S. 31.

3) HOPPE-SEYLER, Physiologische Chemie. S. 551.

4) BERT l. c. S. 548 u. ff.

Bei zunehmender Sauerstoffspannung nimmt der Sauerstoffgehalt des Blutes zu, doch wachsen die auspumpbaren Mengen des Gases durchaus nicht proportional dem Drucke, da, wie oben erwähnt, das Hämoglobin schon bei 1 Atmosphäre Druck völlig gesättigt ist; dagegen verhalten sich die Mengen Sauerstoff, welche im Blutplasma absorbirt sind, entsprechend dem HENRY DALTON'schen Gesetze. Die Zunahme der Sauerstoffmengen im Blute geht aus folgender Tabelle P. BERT's hervor, welche Mittelzahlen aus einer grossen Reihe von Versuchen enthält:

TABELLE LXIV.

Druck in Atmosphären	Sauerstoff im Blute	Kohlensäure	Stickstoff
1	20	40,0	2,2
2	20,9	40,7	3,0
3	21,6	37,2	3,9
5	22,7	35,7	6,0
7	23,1	35,5	7,0
10	23,4	36,6	9,4

Es wird daraus ersichtlich, wie der Sauerstoff im Blute nur wenig anwächst, jedenfalls viel langsamer als der Stickstoff, während die Kohlensäure nur ganz geringen Schwankungen unterliegt. Die geringe Steigerung des Sauerstoffgehaltes des Blutes ist denn auch nur von physiologischen Aenderungen am Organismus begleitet, von einer Verlangsamung der Athemzüge mit gleichzeitiger Vertiefung derselben, und ebenso Verlangsamung der Herzaction, welche nach dem über den Einfluss der Sauerstoffverminderung Gesagten leicht verständlich wird. Die übrigen Symptome sind zum Theil von der Erhöhung des Luftdrucks abhängig und kann daher auf dieses Capitel, sowie auch auf den Abschnitt: Gewerbekrankheiten dieses Handbuches II. Theil, Abth. 4, S. 83 verwiesen werden.

Es erübrigte nun nur mehr noch auf die indirecten Beziehungen des Sauerstoffs zur menschlichen Gesundheit einzugehen. Solche existiren in dem Verhalten der niederen Organismen zum Sauerstoffe; da dieses jedoch in dem Abschnitte: Fermente und Mikroorganismen eingehende Behandlung gefunden hat, so kann an dieser Stelle davon abgesehen werden.

## 2. Feuchtigkeit.

Der Feuchtigkeitsgehalt der Luft und seine Schwankungen sind von hervorragender Bedeutung für den menschlichen Organismus, in-



soferne durch sie die Wasserabgabe vom Körper wesentlich beeinflusst wird. Das Wasser verlässt den Organismus in flüssiger Form durch die Nieren und Darm, zeitweise auch durch die Haut (Schweiss), in Dampfform durch Lunge und Hautorgan. Beide Wege stehen zu einander in enger Beziehung und kann unter gegebenen Verhältnissen der eine Ausscheidungsmodus bei mangelnder Thätigkeit des anderen für diesen bis zu einem gewissen Grade stellvertretend wirken.

Wie unter gewöhnlichen Verhältnissen die Wasserabgabe auf beide Wege vertheilt ist, darüber gibt Tabelle LXV Aufschluss, welche aus den Untersuchungen von v. PETTENKOFER und VOIT<sup>1)</sup> entnommen ist und zugleich den Betrag des dampfförmig ausgeschiedenen Wassers in Procenten angibt.

TABELLE LXV.  
Wasserabgabe vom Körper.

	Total Grm.	Durch Excrete Grm.	Durch Respiration und Perspiration	
			absolut Grm.	o/o
Mann I. Bei Hunger u. Ruhe . . .	1977	1148	829	42
" " " " " " . . .	1677	863	814	49
" " " Arbeit . . .	2525	746	1779	70
" mittlerer Kost u. Ruhe . . .	2390	1562	828	35
" " " " " " . . .	2187	1178	1009	46
" " " " " " . . .	2387	1430	957	40
" " " " Arbeit . . .	3220	1177	2043	63
" " " " " " . . .	2700	1288	1412	52
" eiweissreicher Kost u. Ruhe . . .	3118	2008	1110	35
" " " " " " . . .	3622	2414	1208	33
" stickstoffloser " " " " . . .	1835	910	925	50
Mann II. " mittlerer Kost u. Ruhe . . .	2014	1111	903	45

Nach diesen Versuchen lässt sich im Grossen und Ganzen sagen, dass bei Ruhe etwas mehr als die Hälfte des auszuschiedenden Wassers in flüssiger Form ausgeschieden wird, während bei Arbeit in Folge ausgiebigerer Ventilation der Lunge, wohl auch erhöhter Hautthätigkeit, die grössere Menge durch diese beiden Organe abgeht.

Selbstverständlich sind hiermit keine Extreme gegeben, und erfahren die angegebenen Grössen mannigfache Aenderungen je nach den äusseren Verhältnissen, worunter die Zufuhr von Wasser zum Organismus einerseits und andererseits die Feuchtigkeitsverhältnisse der umgebenden Luft wohl eine Hauptrolle zu spielen vermögen.

1) Zeitschrift für Biologie. Bd. 2. S. 546.

Letztere anlangend lässt sich zunächst eine Berechnung anstellen, wie viel Wasser durch die Athmung bei verschiedener Temperatur und Feuchtigkeit der Luft dem Körper entzogen wird. Folgender Tabelle LXVI ist die Annahme zu Grunde gelegt, dass im Tage 9000 Liter Luft die Lunge passiren und dass dieselben mit Wasserdampf gesättigt expirirt werden; man kennt ferner die Temperaturerhöhung, welche die Luft hierbei erfährt<sup>1)</sup> und kann nun für jeden beliebigen Sättigungsgrad der Inspirationsluft die in der Expirationsluft enthaltene Wassermenge berechnen. Es geschah dies für 5 verschiedene Zustände: der völligen Trockenheit, der Sättigung und der dazwischen liegenden Grade von 25 %, 50 % und 75 % relativer Feuchtigkeit.

TABELLE LXVI.

Menge des in 9000 Litern Athemluft ausgeschiedenen Wasserdampfes (pro die).

Lufttemperatur <sup>1)</sup> bei		Relative Feuchtigkeit der Inspirationsluft				
Inspiration	Expiration	0%	25%	50%	75%	100%
		Grm.	Grm.	Grm.	Grm.	Grm.
— 10° C.	+ 30	271	266	261	256	250
0	32,7	313	302	291	280	269
+ 5	33,9	333	318	303	288	273
10	35,0	354	333	312	290	269
15	36,0	373	344	315	286	258
20	36,9	390	352	313	274	236
25	37,2	396	345	293	242	191
30	37,5	400	335	267	199	131

Es schwanken somit die durch die Respiration ausgeschiedenen Mengen Wasserdampf unter extremen Feuchtigkeitsverhältnissen der Luft allein schon um das Dreifache; kommt nun dazu noch eine erhöhte Respirationsthätigkeit, z. B. in Folge von Arbeitsleistung, so wächst das Athemvolumen beträchtlich an und damit auch die Menge des expirirten Wasserdampfes, auch wenn in solchen Fällen vielleicht die Expirationsluft nicht mehr völlig mit Wasserdampf gesättigt ist.

Innerhalb sehr weiter Grenzen scheinen die Wasserverluste von Seite des Respirationsorgans ohne schlimme directe Folgen ganz gut ertragen zu werden. Im Winter sinkt in vielen Wohnungen die relative Feuchtigkeit bis auf 20 % herab, ohne dass eine Belästigung

1) KRIEGER, Ueber die Entstehung von entzündlichen und fieberhaften Krankheiten. Zeitschrift für Biologie. Bd. 5. S. 483.

davon empfunden würde. Höchstens werden Klagen erhoben über Trockenheit im Halse von Seite von Personen, welche viel in Räumen mit sehr trockner Luft zu sprechen gezwungen sind (Lehrer, Professoren), häufig jedoch concurriren hierbei noch andere Factoren, Staubgehalt der Luft, Verbrennungsproducte des Staubes, welcher mit glühenden Flächen von Heizeinrichtungen in Berührung geräth u. a. (vergl. das Kapitel Wohnung, spec. Luftheizung). Auch die entgegengesetzten Fälle von hochgradiger Sättigung der Luft mit Wasserdampf erweisen sich als unschädlich, da immer noch auf anderen Wegen eine genügende Wassermenge aus dem Körper abgeschieden werden kann.

Vielfach wird den Feuchtigkeitszuständen der Luft ein Einfluss auf die Verbreitungsweise epidemischer Krankheiten zugeschrieben, speciell auch für Erkrankungen des Respirationsorgans. Bei der grossen Schwierigkeit jedoch, die Bedeutung der einzelnen klimatischen Elemente für sich festzustellen und bei dem gleichzeitigen Einwirken der verschiedensten socialen Zustände auf die Krankheitsätiologie ist es bisher noch nicht mit Sicherheit gelungen, den Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Verbreitungsweise dieser Krankheiten zu definiren. Wohl scheinen einige von KRIEGER<sup>1)</sup> gemachte Beobachtungen darauf hinzuweisen, dass trockne Luft, wie sie in vielen Wohnungen während des Winters vorhanden ist, eine Disposition für das Zustandekommen entzündlicher Krankheiten, spec. Croup und Diphtherie, hervorrufen könne, doch lässt sich noch nicht klar ersehen, auf welchem Wege diese Einwirkung zu Stande kommt, da eine ganze Reihe von Möglichkeiten in Betracht kommt, und andere gleichzeitig wirkende Factoren nicht ohne Weiteres ausgeschlossen werden können (vergl. hierüber den Abschnitt Volkskrankheiten in diesem Handbuche).

Die Wasserabgabe durch die Haut ist ein durch physiologische Vorgänge in diesem Organe wesentlich unterstützter Process. Die eingehenden kritischen und experimentellen Untersuchungen ERISMANN's<sup>2)</sup> haben ergeben, dass von der todten Haut ungleich weniger Wasser verdunstet als von der lebenden. Von der Körperoberfläche einer Leiche wurden nach Verschluss aller Körperhöhlen in 24 Stunden 40 Grm. Wasser an die Luft abgegeben; nach den beiden vorangehenden Tabellen lässt sich die Wasserabgabe von der Haut auf mindestens 500—700 Grm. pro Tag berechnen, was auch mit den

---

1) KRIEGER, Aetiologische Studien. Strassburg 1880.

2) Zeitschrift für Biologie. Bd. 11. S. 1.

Angaben anderer Forscher, WEYRICH<sup>1)</sup>, RÖHRIG<sup>2)</sup> u. A. harmonirt. Ersterer gibt die Verdunstung pro 24 Stunden zu 560, letzterer zu 634 Grm. an.

Diese grossen Differenzen zwischen dem Verhalten des lebenden und todten Organs können nur durch die Thätigkeit der Schweissdrüsen erklärt werden, welche über die ganze Körperoberfläche, wenn auch sehr ungleichmässig, vertheilt sind. Letzteren Punkt anlangend mögen nur einige Zahlen hier Platz finden.

Nach KRAUSE<sup>3)</sup> treffen auf einen Quadratcentimeter Haut

in der Hohlhand und Fusssohle . . . . .	373
auf dem Handrücken . . . . .	207
an Stirne und Hals . . . . .	180
an Brust, Bauch und Armen . . . . .	152
am Fussrücken . . . . .	125
an Schenkeln und Wangen . . . . .	70—80
an Nacken, Rücken und Gesäss . . . . .	55

Schweissdrüsen, und verhalten sich demnach die verschiedenen Hautpartien ausserordentlich verschieden schon nach der Zahl ihrer Drüsen. Es ist daher grosse Vorsicht geboten bei Uebertragung von Resultaten, welche an einer einzelnen Hautpartie, z. B. der Haut des Armes, gewonnen wurden, auf die ganze Körperoberfläche, wovon noch später die Rede sein wird.

Wasser wird von der Haut sowohl in flüssiger Form als Schweiss, als auch in Dampfform abgegeben; doch ist auch im letzteren Falle zunächst eine Ausscheidung von flüssigem Wasser in die Ausführungsgänge der Schweissdrüsen anzunehmen, welche eben so gering ist, dass sie nicht sichtbar wird, weil keine Tröpfchenbildung erfolgt, da die Verdunstung an den Mündungen der Ausführungsgänge der Drüsen dieselbe verhindert. Beide Vorgänge gehen unmerklich in einander über, die trockne Haut wird erst etwas feucht und dann erst erfolgt der Ausbruch von Schweiss (ERISMANN, WEYRICH). In letzterer Form können beträchtliche Mengen Wasser abgegeben werden; es sollen bei Schwitzkuren in 1—1½ Stunden bis zu 800 Grm. Schweiss im Hemde von Kranken aufgefangen worden sein (RÖHRIG).

Ueber die unsichtbare Wasserabgabe von der Haut in ihrer Abhängigkeit von verschiedenen Körperzuständen und atmosphärischen Verhältnissen liegen eingehende Versuche von ERISMANN<sup>4)</sup> vor, welche

1) Die unmerkliche Wasserverdunstung der menschlichen Haut. Leipzig 1862.

2) RÖHRIG, Physiologie der Haut. Berlin 1876.

3) KRAUSE, Wagner's Handwörterbuch der Physiologie, Artikel „Haut“.

4) ERISMANN, Zur Physiologie der Wasserverdunstung von der Haut. Zeitschrift für Biologie. Bd. 11. S. 1.



mit Hilfe des PETTENKOFER'schen Respirationsapparates angestellt wurden. Aus ihnen geht, was die äusseren Verhältnisse, Temperatur, relative Feuchtigkeit und Luftbewegung (Ventilationsgrösse) anlangt, zunächst hervor, dass die relative Feuchtigkeit der umgebenden Luft der wichtigste von diesen Factoren ist. Zum Belege hierfür dient Tabelle LXVII, welche keiner weiteren Erklärung bedarf und welcher nur noch die Rubrik: Sättigungsdeficit hinzugefügt wurde. Die Ventilationsgrösse war nahezu die gleiche in allen Fällen.

TABELLE LXVII.

Temperatur	Relative Feuchtigkeit	Sättigungs- deficit Grm.	Wasserabgabe vom Arme in 3 Stunden Grm.
18,2	77	3,57	2,726
17,2	50	7,29	13,683
17,5	43	8,47	18,233
17,4	15	12,55	50,085
19,9	62	6,49	11,444
20,1	48	8,98	19,551

Erst in zweiter Linie machte sich in ERISMANN's Versuchen der Einfluss der Temperatur, *ceteris paribus*, und in dritter Linie der einer grösseren Ventilation des Versuchsraumes geltend. Gleiche Resultate ergaben sich auch beim bekleideten Arme, nur wurde hier im Allgemeinen eine geringe Erhöhung der Wasserabgabe gegenüber den Versuchen mit nacktem Arme gefunden.

Eine bedeutende Steigerung der Wasserverdunstung erfolgte jedoch nach Einnahme von warmen Getränken, fast um das Doppelte, und bei Arbeit. In keinem von diesen Fällen erfolgte aber eine Schweissbildung.

Leider sind diese sehr sorgfältig ausgeführten Versuche ERISMANN's nicht direct auf den ganzen Körper übertragbar, und zwar aus zwei Gründen, einmal ist nicht erwiesen, ob die Wasserabgabe vom Arme sich zu der vom ganzen Körper direct proportional der Oberfläche beider verhält; bei der oben schon angeführten ungleichmässigen Vertheilung der Schweissdrüsen müsste erst durch Versuche die Berechtigung einer solchen Annahme erwiesen werden und zweitens befand sich in ERISMANN's Versuchen der zum Versuche dienende Arm meist unter ganz anderen Verhältnissen als der ganze übrige Körper, zum Mindesten gilt dies für die extremen Fälle, in welchen die Luft im Kasten künstlich befeuchtet oder getrocknet wurde. Welche absurde Zahlen man bei Vernachlässigung dieser

Gesichtspunkte erhält, geht aus ERISMANN's Tabelle XXII (l. c. S. 69) hervor, in welcher die 24stündige Wasserabgabe vom ganzen Körper aus der in 3 Stunden beobachteten Wasserabgabe vom Arme berechnet wurde. Man gelangt so zu Zahlen, welche die in den Versuchen von PETTENKOFER und VOIT gefundenen Wassermengen, die durch Haut und Lunge abgegeben wurden, von denen also immer noch ca. 300 Grm. pro Lungenathmung in Abzug gebracht werden müssen, weit übertreffen. Während bei PETTENKOFER und VOIT 1700 Grm. Wasser als Maximum der Wasserverdunstung von der Haut gefunden wurden, steigen in ERISMANN's Tabelle die Mengen bis zu 4000, ja sogar 7000 Grm. pro die an, ohne dass eine solche Vermehrung der Wasserabgabe durch Einnahme übermässig grosser Flüssigkeitsmengen zu erklären wäre.

Die Wasserabgabe von der Haut steht in innigstem Zusammenhange mit der Wärmeökonomie des Körpers, auf welche weiter unten im Capitel „Temperatur“ näher einzutreten ist. Hier sei nur kurz vorausgeschickt, dass, nachdem bei jeder Verdunstung Wärme gebunden wird, die Verdunstung von der Haut, entsprechend den Schwankungen, die sie unter dem Einflusse äusserer und innerer Verhältnisse erleidet, sehr verschiedene Wärmemengen dem Körper entführt und somit modificirend auf die Wärmeökonomie desselben einzuwirken vermag. Es gewinnt dadurch die Feuchtigkeit der Luft in manchen Fällen eine besondere Bedeutung; bei hoher Temperatur, welche die Wärmeabgabe vom Körper sehr erschwert, kann ein grosses Sättigungsdeficit der Luft für Wasserdampf durch Ermöglichung einer ausgiebigen Verdunstung von Schweiss die Wärmeabfuhr sehr erleichtern, und werden dadurch Wärmegrade erträglich, welche bei Sättigung der Luft mit Wasserdampf nicht ohne Unbehagen oder gar ernstliche Störung des Allgemeinbefindens ertragen würden. Bei niedriger Temperatur kann die Luft mit Wasserdampf gesättigt sein ohne einen störenden Einfluss auszuüben; in diesem Falle kann immer noch Wasser von der Haut verdunsten, da die Luft sich in Berührung mit ihr erwärmt und somit wieder ein Sättigungsdeficit entsteht. (S. Temperatur.)

Die indirecten Einwirkungen der Luftfeuchtigkeit anlangend sei hier zunächst auf deren Einfluss auf den Gehalt der Luft an Pilzen hingewiesen. MIQUEL<sup>1)</sup> hat in Montsouris fortlaufende Untersuchungen über den Pilzgehalt der Luft angestellt und dabei gefunden, dass bei länger dauernder Trockenheit die Zahl der Spaltpilze in der Luft

1) MIQUEL, Les organismes vivants de l'atmosphère. Paris 1883. p. 214 u. ff.

zunimmt, wohl in Folge des durch die Austrocknung des Bodens erleichterten Ueberganges derselben in die Luft, dass aber schon nach einigen Tagen das Maximum erreicht wird und nun eine Abnahme eintritt, welche nur auf Rechnung der Austrocknung und damit Verminderung oder vollständiger Aufhebung der Lebensfähigkeit der Pilze zu setzen ist.

Auch beim Auftreten und Verschwinden epidemischer Krankheiten spielt die Luftfeuchtigkeit unter Umständen eine wichtige Rolle. So ist es, um nur ein Beispiel hier anzuführen, besonders für tropische Gegenden (Indien) sicher constatirt, dass die Cholera unter Umständen durch den Eintritt der Regenzeit stark vermindert oder ganz zum Verschwinden gebracht wird, während die nachfolgende Trockenheit sie wieder aufleben lässt (endemisches Gebiet in Indien). In anderen Gegenden (epidemisches Gebiet) wiederum verschwindet bei hochgradiger Trockenheit und hoher Temperatur die Cholera gänzlich und kommt erst nach den ersten Regen zum Ausbruch (v. PETTENKOFER <sup>1)</sup>, LEWIS und CUNNINGHAM <sup>2)</sup>).

Eine eingehende Erörterung dieses Verhältnisses muss dem Capitel „Volkskrankheiten“ dieses Handbuchs vorbehalten bleiben. Ebenso muss bezüglich der Luftfeuchtigkeit in geschlossenen Räumen auf den Abschnitt „Wohnung“ verwiesen werden.

### 3. Kohlensäure.

Die Mengen Kohlensäure, welche sich in der Luft im Freien vorfinden und welche nur geringe Schwankungen zwischen 0,3 ‰ (auf freiem Felde) und 0,4 ‰ (in Städten) aufweisen, sind an und für sich bedeutungslos für den menschlichen Körper; sie sind so gering, dass sie für die Respiration gar nicht in Betracht kommen. Die Ausscheidung der Kohlensäure aus dem Körper in der Lunge erfolgt ebensogut in eine Luft, welche keine Kohlensäure enthält, als in solche von dem eben bezeichneten Gehalte an diesem Gase. Erst Anhäufungen dieses Gases, wie sie im Freien niemals, wohl aber in geschlossenen Räumen vorkommen, werden gefährlich. Unter solchen Verhältnissen erfolgt eine Anhäufung des Gases im Blute, welche unter Umständen bis zu 120 Volumprocenten (PAUL BERT <sup>3)</sup>)

---

1) v. PETTENKOFER, Die Cholera in Indien. Braunschweig 1871.

2) LEWIS und CUNNINGHAM, Cholera in relation to certain physical phenomena. 13<sup>th</sup> annual report of the sanitary commissioner with the Government of India. Vergl. Vierteljahrschrift für öffentl. Gesundheitspflege. 1878. Bd. 10. S. 656.

3) PAUL BERT, La pression barométrique. p. 996.

ansteigt, während normal im Arterienblute etwa 40 % (beim Menschen von SETSCHENOW gefunden) und im Venenblute im Mittel aus 15 Analysen <sup>1)</sup> 9,2 % Kohlensäure mehr als im arteriellen Blute vorhanden sind. Im Erstickungsblute sind im Mittel 11,4 % mehr als im normalen arteriellen Blute enthalten.

Geringe Erhöhungen des Kohlensäuregehaltes der Athemluft werden lange Zeit ohne Störung ertragen; v. PETTENKOFER <sup>2)</sup> gibt an, dass er sich stundenlang in Luft von 10 ‰ reiner Kohlensäure vollkommen wohl befunden habe, und FORSTER <sup>3)</sup> beobachtete weder an sich, noch an Anderen Störungen, als sie sich 10 Minuten in Luft von 40 ‰ Kohlensäure in einem Gärkeller aufhielten.

Gleichwohl haben diese und noch geringere Werthe eine hervorragende Bedeutung erlangt durch die Einführung der Kohlensäurebestimmung als Maassstab für die Verschlechterung der Luft geschlossener Räume durch Respiration, Beleuchtung und andere Processe. Muss die eingehende Erörterung dieser Dinge auch dem Capitel „Wohnung“ zugewiesen werden, so ist doch an dieser Stelle hervorzuheben, dass v. PETTENKOFER die Kohlensäure an sich, wie man sie meist in bewohnten Räumen findet, von Anfang an für unschädlich hielt, wohl aber ein gesundheitsschädliches Moment in ihr erblickte, insofern er in ihr ein greifbares Maass für andere, die Luft verunreinigende, aber nicht messbare Producte der gleichen chemischen Vorgänge, aus welchen sie selbst stammt, erkannte. Auch weiterhin wurde die Kohlensäure als Hauptproduct vieler chemischer, besonders putriden Processe, als Maass für die Intensität dieser Vorgänge angesprochen (z. B. Grundluft, siehe Capitel „Boden“).

Höhere Werthe des Kohlensäuregehaltes der Luft als die bisher besprochenen machen sich dem Menschen bemerklich durch Kopfschmerzen, Schwindel, welchen bald Verlust des Bewusstseins, endlich vollständige Lähmung und damit der Tod nachfolgt. Gelangt Luft mit sehr hohem Kohlensäuregehalte (30 % und mehr) plötzlich zur Einwirkung auf den Menschen, so erfolgt momentan Bewusstlosigkeit und Tod, wie man an Brunnen- und Grubenarbeitern häufig zu beobachten Gelegenheit hat.

Was nun die tödtliche Dose Kohlensäure in der Luft anlangt, so wird dieselbe wesentlich durch den Sauerstoffgehalt der Luft modificirt. Ist letzteres Gas, wie es allerdings nur in Laboratoriumsver-

---

1) ZUNTZ, Hermann's Physiologie. Bd. 4. Abth. 2. S. 37.

2) Annalen der Chemie und Pharmacie. 1862. Suppl. S. 6.

3) Zeitschrift für Biologie. Bd. 11. S. 400.



suchen vorkommt, so reichlich vorhanden, dass der Körper keinen Mangel daran leidet, so gehen die Thiere zu Grunde bei 35—45 % Kohlensäure und im Venenblute finden sich bis zu 120 Volumprocente dieses Gases <sup>1)</sup>. Ist dagegen ein Thier in einem geschlossenen Raume, welcher keine Ventilation gestattet, nur auf die darin enthaltene Luftmenge angewiesen, so erfolgt der Tod schon früher, da in diesem Falle mit der Wirkung der Kohlensäureanhäufung die der Sauerstoffverarmung concurrirt. In solchen Versuchen fand P. BERT bei Eintritt des Todes 12,6—15,8 % CO<sub>2</sub>, während der Sauerstoff bis auf 1,5—3,0 % aufgezehrt war.

#### 4. Ammoniak, Salpetersäure und salpetrige Säure.

Wie im ersten Theile dieses Abschnittes schon hervorgehoben wurde, können die Mengen Ammoniak, Salpetersäure und salpetrige Säure, welche in der Luft im Freien vorkommen, als bedeutungslos für den menschlichen Organismus angesehen werden, da sie zu gering sind, um irgend einen unseren Sinnen zugänglichen Einfluss auszuüben. Nach dem gegenwärtigen Stande der Wissenschaft, welche erst eine bestimmte minimale, wenn auch für die einzelnen Gase verschiedene Menge als wirksam erkannt hat, können Milligramme Ammoniak oder Salpetersäure im Cubikmeter Luft als wirkungslos erklärt werden. Nimmt man 1 Milligramm pro Cubikmeter Luft als Mittel für die Luft im Freien, so gelangen im Tage bei einer Respirationsgrösse von 9000 Litern nur 9 Milligramme in die Lungen, von denen jedoch noch immer nicht erwiesen ist, ob sie in das Blut übergehen oder ob sie wieder expirirt werden. Würde aber auch das erstere der Fall sein — was als nicht wahrscheinlich angesehen werden kann, da zum Uebergange von Gasen ins Blut bei so geringer Tension wie im vorliegenden Falle längere Zeit nothwendig ist als ein Athemzug beansprucht —, so ist ein Effect zum Vortheile oder Nachtheile der menschlichen Gesundheit immerhin nicht denkbar.

Anders dagegen, wenn jene Gase in grösserer Menge in der Luft vorhanden sind, z. B. in gewissen Fabriken oder an Stätten intensivster Fäulniss. Hier kann es sich um alle Zwischenstufen von der einfachen Belästigung des Geruchsorganes bis zur Sistirung der Athmung und nachfolgenden Tod handeln, da sowohl Ammoniak als auch Salpetersäure und salpetrige Säure unter die irrespirablen Gase zählen, welche ihre Wirkung durch den auf den Schleimhäuten, besonders der Respirationsorgane, hervorgerufenen Reiz, welcher eine mehr

---

1) La pression barométrique. p. 996.

oder weniger intensive Störung der Respiration zur Folge hat, äussern. Die nähere Erörterung dieser Vorgänge gehört in den Abschnitt „Gasinhalationskrankheiten“. (Vergl. II. Theil, 4. Abth. dieses Handbuches.)

### 5. Ozon und Wasserstoffsuperoxyd.

Auch bezüglich des so vielfach besprochenen und unzählige Male bestimmten Ozons, sowie des Wasserstoffsuperoxydes lässt sich das Gleiche sagen, wie bezüglich des Ammoniaks und der salpetrigen Säure in der Luft im Freien. Muss auch zugegeben werden, dass das Ozon ein energisches Oxydationsmittel sei, so lässt sich doch eine directe Einwirkung desselben auf den Organismus in keiner Weise feststellen, da seine Menge, selbst wenn sie genau bestimmbar wäre, viel zu gering ist, um einen sinnlich wahrnehmbaren Effect hervorzubringen; es kann sich höchstens um Milligramme pro Cubikmeter Luft handeln. Angenommen aber, diese Menge gelangte wirklich zur Einwirkung auf den Menschen, so kann doch nur an eine Oxydation der auf der Oberfläche der Schleimhaut der Respirationsorgane befindlichen organischen Stoffe Schleim, Epithelzellen gedacht werden, eine Aufnahme ins Blut dürfte gänzlich ausgeschlossen sein, da man annehmen kann, dass alles Ozon auf dem Wege nach jenen Partien des Lungengewebes, wo erst der Gaswechsel zwischen Athemluft und Blut stattfindet, bereits zerstört sein muss. Die geringen Mengen organischer Substanz aber, welche hierbei vom Körper zu Verlust gehen können und im Tage höchstens einige Milligramme betragen dürften, sind unmöglich im Stande eine überhaupt nur bemerkliche Störung im Organismus hervorzurufen.

Die grosse Wichtigkeit, welche man bald nach seiner Entdeckung dem Ozon zuschrieb, basirte zum nicht geringsten Theile auf dem vermeintlichen Nachweise von Ozon im Blute. Lange Zeit schrieb man dem Hämoglobin die Fähigkeit zu, Sauerstoff der atmosphärischen Luft zu ozonisiren, doch haben PFLÜGER<sup>1)</sup>, OERTMANN<sup>2)</sup>, HOPPE-SEYLER<sup>3)</sup> diese Annahme durch sorgfältige Versuche gründlich widerlegt. Schon die geringen Kenntnisse der Eigenschaften des Ozons verbieten die Annahme der Möglichkeit des Vorhandenseins von Ozon im Blute; hat doch WOLFFHÜGEL nachgewiesen, dass in Wohnräumen nirgend Ozon aufzufinden ist, da es durch die organischen Substanzen, mit denen es in Berührung kommt, sofort zerstört wird. Auf Grund dieser Erkenntniss muss aber auch die Be-

1) PFLÜGER's Archiv. Bd. 10. S. 251.

2) Ebenda. Bd. 15. S. 381.

3) HOPPE-SEYLER, Med. chem. Untersuchungen. Berlin 1866. S. 133 u. 293.

deutung des atmosphärischen Ozons als eines der menschlichen Gesundheit förderlichen Agens zum mindesten zweifelhaft werden, und die in der ärztlichen Welt noch immer und so weit verbreitete Phrase von dem heilenden oder gesundheitstärkenden Einflusse ozonreicher Luft erweist sich eben nur als eine Täuschung, welche nur auf Grund mangelnder quantitativer Beleuchtung des Gegenstandes so lange Zeit überliefert werden konnte. Wohl lehrt die Erfahrung, dass die Luft auf freiem Felde, in Wäldern, an der See, auf Bergen ozonhaltig ist, während sie im Innern der Städte und besonders in Wohnräumen frei davon gefunden wird, ein Trugschluss jedoch ist es, anzunehmen, dass die Luft im ersteren Falle ihre wohlthätige Eigenschaft dem Ozon verdanke, und kann daher der Ausdruck „ozonreiche Luft“ höchstens synonym mit dem Worte „gute Luft“ gebraucht werden, sofern nicht spätere Untersuchungen zeigen werden, dass auch eine schlechte Luft, z. B. Sumpfluft, ozonreich sein kann.

Schon WOLFFHÜGEL <sup>1)</sup> hat auf Grund eingehender Kritik der über das Ozon vorhandenen Literatur und seiner zahlreichen Experimente bezweifelt, dass man den sanitären Werth des Ozons schon als erwiesen hinstellen könne; heutzutage kann man wohl der Ueberzeugung Ausdruck geben, dass dem Ozon ein sanitärer Werth nicht zukomme, umsomehr, da auch die epidemiologischen Beobachtungen, soweit sie den Einfluss des Ozons auf die Verbreitung von Infectiouskrankheiten betreffen, ein vollkommen negatives Resultat ergaben. Wohl fanden manche Beobachter eine Abnahme des Ozons bei Beginn und während der Dauer von Choleraepidemien, welcher wieder eine Zunahme gegen Ende der Epidemie folgte (MOFFAT in England, COOK in Indien, SMALLWOOD in Canada, BÖCKEL in Strassburg, ROBERT in Neudorf, WOLF in Bern u. A.<sup>2)</sup>); doch stehen diesen Befunden andere gegenüber, welche ein ganz anderes Verhältniss aufweisen; PETTENKOFER in München und SEITZ ebenda, GLAISHER in London, SCHIEFFERDECKER in Königsberg, STRAMBIO in Mailand, FOX u. A. fanden entweder gar keinen Zusammenhang zwischen Cholera und Ozon oder geradezu ein entgegengesetztes Verhältniss gegenüber den Resultaten der oben citirten Beobachter. So kann denn auf Grund aller dieser Erfahrungen behauptet werden, dass dem Ozon der atmosphärischen Luft weder eine gesundheitsfördernde, noch auch eine gesundheitsschädigende Rolle zugeschrieben werden kann. Mag auch das künstlich dargestellte und als solches meist in

---

1) Ueber den sanitären Werth des atmosphärischen Ozons. Zeitschrift für Biologie. Bd. 11. S. 459. 2) Vergl. Fox, Ozone and Antozone. London 1873. p. 126.

concentrirter Form zur Wirkung gelangende Ozon ein sehr differenter Stoff<sup>1)</sup> sein und in der Therapie und als Desinfectionsmittel eine Rolle zu spielen haben, mit dem atmosphärischen Ozon in seiner grossen Verdünnung braucht sich die Hygiene nicht weiter zu befassen.

## 6. Die gasförmigen Verunreinigungen der Luft.

Um zu einem Ueberblick über die Bedeutung der zahlreichen, im ersten Theile aufgeführten Beimengungen von Gasen zur Luft zu gelangen, erscheint es zweckmässig, in erster Linie von einer Würdigung der quantitativen Verhältnisse auszugehen. Von den intensivsten zu den schwächeren Verunreinigungen fortschreitend lassen sich zunächst die in den geschlossenen Räumen zu beobachtenden Vorkommnisse von denen in der freien Atmosphäre trennen und in ersterer Gruppe wieder die in der Industrie und den Gewerben sich ergebenden Gasentwicklungen von den in bewohnten Räumen überhaupt vorkommenden Beimischungen.

Die Ausführung des Details der den Gewerben ihre Entstehung verdankenden Arten der Luftverunreinigungen kann dem Capitel „Gasinhalationskrankheiten“ dieses Handbuches überlassen bleiben; hier kann es sich nur darum handeln, eine gedrängte Uebersicht zu geben; und genügt es, nur anzuführen, dass man die hier in Betracht kommenden Gase nach ihrer physiologischen Wirkung in indifferente, irrespirable und giftige Gase einzutheilen pflegt, ohne jedoch damit erschöpfend zu sein, denn es bleiben immer noch eine Anzahl von Gasen, welche keiner dieser Gruppen beigezählt werden können, da ihre Wirkung zu wenig studirt oder nicht genügend definirbar ist.

Die durch die Beimengung indifferenter Gase zur Luft verursachten Störungen sind wesentlich auf die Verminderung des Sauerstoffgehaltes der Luft zurückzuführen; nach dem bei Erörterung dieses letzteren Factors Gesagten kann es sich in solchen Fällen nur um Beimischung grosser Mengen eines indifferenten Gases handeln, da eine geringe Verminderung des Sauerstoffdruckes ohne Störung ertragen wird und eine Accommodation an sauerstoffärmere Luft möglich ist. Zu den indifferenten Gasen rechnet man den Stickstoff, Wasserstoff und die meisten Kohlenwasserstoffe, welche besonders

---

1) Vergl. AUGUST MEYER, Experim. Studien über den Einfluss des Ozons auf das Gehirn. Bonn 1883; BINZ, Ozonisirte Luft, ein schlafmachendes Gas. Berl. klin. Wochenschr. 1882. No. 43; BINZ, Das Verhalten von Blut u. Ozon zueinander. Centralbl. f. d. med. Wissensch. 1882. No. 41.



in den Bergwerken den Arbeitern gefährlich werden. Je nach der Menge, in welcher sie der atmosphärischen Luft beigemischt werden, können sie vorübergehendes Unwohlsein oder die gefahrdrohenden Symptome der Asphyxie und diese selbst zur Folge haben. Man spricht auch von einer Anämie der Bergleute als Folge des fortgesetzten Einathmens sauerstoffarmer, aber stickstoffreicher Luft (HIRT, Bd. 2. Abth. 4 dieses Handbuches).

Die Klasse der irrespirablen Gase ist charakterisirt durch ihre Einwirkung auf die Respirationsorgane. In geringerer Concentration verursachen dieselben Husten und Katarrhe oder intensivere Entzündungen und schaffen bei fortgesetzter Einathmung eine Disposition für anderweitige Erkrankung der Luftwege. Grosse Mengen derselben rufen, der Luft beigemischt, Stimmritzenkrampf hervor und leiten so, wenn nicht sofort Abhilfe geschafft wird, die Erstickung ein. Man rechnet hierher die schweflige Säure und Schwefelsäure, Salzsäure, Salpetersäure, Ammoniak und Chlor, doch bildet nach neueren Untersuchungen von OGATA <sup>1)</sup> die schweflige Säure ein Uebergangsglied zu der Classe der giftigen Gase, insofern sie, in geringerer Concentration eingeathmet, vom Blute aus giftig wirkt, gleichzeitig aber auch die Schleimbäute afficirt, während hoher Gehalt der Luft an diesem Gase Stimmritzenkrampf hervorrufft und so den Tod herbeiführen kann.

Die als giftig bezeichneten Gase erregen die Luftwege nur wenig oder gar nicht, sondern gelangen durch sie in das Blut und entfalten von hier aus ihre Wirkung auf das Herz oder die nervösen Centralorgane. Auch hier steht der Effect im Verhältniss zur Concentration und werden durch geringe Mengen der Gase leichte Störungen, durch grössere Quantitäten ernste Erkrankungen und unter Umständen der Tod herbeigeführt. Dieser Classe von Giften gehören an das Kohlenoxyd für sich und als wirksamer Bestandtheil des Kohlendunstes, des Leucht- und Wassergases und der Minenluft; ferner die Kohlensäure, Schwefelwasserstoff, Schwefelkohlenstoff, Phosphor- und Arsenwasserstoff.

In einer vierten, wenig charakterisirten Classe werden endlich noch jene Gase zusammengefasst, deren Wirkung entweder nicht genügend bekannt oder zu wenig prägnant ist, um irgend einer der vorhergehenden Classen beigezählt zu werden. HIRT führt hier auf die Jod- und Bromdämpfe, Salzdunst, Oeldunst, Terpentin, Theer

---

1) Ueber die Giftigkeit der schwefligen Säure. Archiv für Hygiene. Bd. 2. S. 223.

und Petroleumdämpfe. Liess sich bei den Gasen der vorangehenden Gruppen deren Wirkung physiologisch genau definiren, so bildet diese Gruppe den Uebergang zu jener Kategorie von gasförmigen Körpern, deren Einwirkung auf den Menschen den physiologischen Untersuchungsmethoden nicht mehr in dem Maasse zugänglich ist, wie die der bisher aufgeführten. In diese Kategorie gehören aber auch jene zahllosen Gase und Riechstoffe, welche man in den Wohnungen der Menschen und in höchster Verdünnung auch in der Luft im Innern der Städte vorfindet, welche chemisch nicht mehr definirbar sind und wohl zumeist ein Gemisch von gasförmigen Körpern der verschiedensten Zusammensetzung und von verschiedenartigster Provenienz darstellen. Gerade diese Unkenntniss aber der chemischen Constitution der hierher zu rechnenden Gase und Gemische solcher, sowie ihrer physiologischen Wirkung verbietet von vornherein dieselben für ebenso bedeutungslos in gesundheitlicher Beziehung zu erklären, wie dies z. B. bezüglich der geringen Mengen Ammoniak oder Salpetersäure oder Ozon, welche sich schon in reinster Luft nachweisen lassen, geschehen konnte, da deren Wirksamkeit soweit bekannt ist, um auch den Effect, den so geringe Dosen haben dürften, würdigen zu können.

Es lässt sich nicht leugnen, dass schlechte, verdorbene Luft — und unter diesen Begriff dürften füglich alle hier in Betracht kommenden Fälle von Verunreinigung der Luft mit geringen, gar nicht oder kaum nachweisbaren Mengen von Gas zu subsumiren sein — einen nachtheiligen Einfluss auf die Gesundheit der Menschen ausüben vermag. Die höhere Sterblichkeitsziffer der Städtebewohner gegenüber der Landbevölkerung, die ungünstigen Gesundheitsverhältnisse gewisser Menschenklassen, welche eng zusammengedrängt in ungünstig angelegten Räumen wohnen, werden mit Recht — zum Theil wenigstens — auf die durch den menschlichen Respirations- und Perspirationsprocess und die verschiedenen anderen Entstehungsursachen bedingte Luftverderbniss zurückgeführt, welche vor allem, aber nicht ausschliesslich, im Innern bewohnter Räume, in dicht bewohnten grossen Städten, aber auch in den Strassen gefunden wird. Es fragt sich nun, ob in diesen Fällen, welche weder durch Verminderung des Sauerstoffes der Luft, noch durch directe Reizung der Respirationsorgane, noch auch durch ihr Eindringen ins Blut gefährlich werden, nicht noch ein anderer Weg gefunden werden kann, auf welchem sie zur Einwirkung auf den Menschen gelangen können und diese Frage muss entschieden mit ja beantwortet werden. Ist es auch schwer, auf dem Wege des Experimentes in dieser Richtung

vorzugehen, so weisen doch mancherlei Analogien darauf hin, dass es berechtigt ist, eine Einwirkung geringer Mengen besonders riechender Gase auf das Geruchsorgan und durch dessen Vermittelung auf den ganzen Organismus anzunehmen. Eine sehr wichtige Analogie liegt auf dem Gebiete der Ernährungshygiene in der Lehre von den Genussmitteln. Man weiss, dass der Mangel an wohlgeschmeckenden Stoffen in der Nahrung von ungünstigstem Einflusse auf die Ernährung ist, dass es Dinge von unmessbarer Feinheit gibt, welche Ekel erregen und so die Nahrungsaufnahme beeinträchtigen, ja dass sogar die blosse Vorstellung solcher Dinge schon den gleichen Effect haben kann. Es ist gewiss nicht zu weit gegangen, die Verunreinigungen der Luft zu jenen in ihrer Wirkung den Genussmitteln geradezu entgegengesetzten Stoffen in Parallele zu stellen und so eine gesundheits-schädigende Wirkung auch von Seite der unmessbaren Gasmengen in schlechter Luft zu erklären.

Wie für die Nahrung, gibt es auch für die Luft Genussmittel, welche den Athmungsprocess zu einem angenehmeren machen; der Städter erfreut sich ihrer, wenn er die freie Landluft aufsucht, denn sicherlich ist es nicht das Ozon, was diese enthält, sondern die Riechstoffe, welche der Vegetation entstammen, die Balsame, deren Geruch der Waldluft beigemengt ist; und ist es dem Wohlhabenden nicht gegönnt, sich jederzeit den Genuss der frischen Waldluft zu verschaffen, so dienen ihm Räuchermittel dazu, die Luft seiner Wohnung zu würzen und so den Genuss derselben zu einem angenehmeren und zuträglicheren zu machen.

Andererseits wirken Beimengungen zur Athemluft, wie man sie beim Eintritte in grosse Städte oder beim Betreten von schlecht ventilirten Wohnungen durch den Geruchssinn wahrnimmt, störend, indem sie erst das Allgemeinbefinden herabsetzen, Unlust erwecken oder je nach ihrer Concentration sogar Ekel erregen. Derartig störende Einwirkungen auf das Allgemeinbefinden dürften aber bei länger fortgesetztem Athmen in verdorbener Luft ebenso wenig ohne schädlichen Einfluss auf den Organismus bleiben wie die reizlose und dadurch zuletzt ekelerregende Kost, z. B. der Gefangenen; weiss man doch, dass psychische Eindrücke, Kummer über erlittenes Unglück bei langer Dauer die Energie der körperlichen Functionen herabsetzen und so die Ernährung schädigen, ja sogar ernstliche Erkrankungen zur Folge haben können; ebenso aber ist es auch denkbar, dass fortgesetzte Depression der Athmung bei andauerndem Aufenthalte in schlechter Luft schliesslich eine Herabsetzung der Gesundheitsverhältnisse zur Folge haben muss.



Diese Auffassung der Bedeutung der gasförmigen Verunreinigungen der Luft, wie Verfasser sie schon vor Jahren <sup>1)</sup> vertreten hat, dürfte jedenfalls berechtigter sein, als die Annahme einer sogenannten cumulativen Wirkung der, wenn auch jeweilig, nur in geringer Menge ins Blut aufgenommenen, dort aber im Laufe der Zeit sich in grösserer Menge ansammelnden Gase. Kann auch eine Resorption jener Gase, welche einer Luft nur den Charakter einer schlechten Luft im Allgemeinen, ohne besondere nähere Charakteristik verleihen, durch das Blut nicht von der Hand gewiesen werden, so muss doch auch andererseits die Fähigkeit des Blutes und der Organe, ihnen inadäquate Stoffe wieder auszuschcheiden, wie dies für den Vorgang der Erholung von acuten Vergiftungen mit specifisch wirkenden Gasen angenommen werden muss, mit berücksichtigt werden. In dieser Beziehung sind besonders wichtig die Untersuchungen von GRUBER <sup>2)</sup> über das Verhalten des Kohlenoxydes im lebenden Körper, bei welchen sich ergab, dass dieses Gas, welches doch eine feste Verbindung mit dem Hämoglobin des Blutes eingeht, nur im Verhältniss zu seiner Concentration in der Athemluft aufgenommen wird. Bei tagelang andauernden Versuchen wurde bei gleichbleibendem Gehalte der Luft an Kohlenoxyd keine Steigerung der bald nach Beginn der Versuche eingetretenen Vergiftungserscheinungen beobachtet, und kann somit eine Anhäufung dieses Gases im Körper als ausgeschlossen erachtet werden.

Noch viel weniger aber erscheint es demnach angänglich, eine Aufspeicherung der mit einer unmessbaren Tension auf den Organismus einwirkenden Gase sogenannter schlechter Luft anzunehmen, nachdem schon die vorausgehenden Versuche GRUBER's mit messbaren Mengen eines sehr giftigen Gases angestellt worden waren. Wenn später WERNICH <sup>3)</sup> annehmen zu müssen glaubte, die Nachkrankheiten der Leuchtgas- und Kohlenoxydgasvergiftungen bewiesen eine Aufspeicherung des Gases im Blute, so konnte demselben entgegengehalten werden, dass diese Nachkrankheiten nur als die Folgezustände der durch die acute Vergiftung verursachten Störungen aufzufassen seien, nicht aber als Folgen der fortgesetzten Einwirkung im Körper noch vorhandener Gasmengen.

---

1) RENK, Die Canalgase, deren hygienische Bedeutung und technische Behandlung. München 1882. S. 28 u. ff.

2) Sitzungsberichte der bayr. Akademie der Wissensch. Mathem.-physikal. Classe. 1881. Sitzung vom 5. Febr. und Archiv für Hygiene v. PETTENKOFER, FORSTER u. HOFMANN. Bd. 1. S. 145.

3) Vierteljahrsschrift f. öffentl. Gesundheitspflege. Bd. 13. H. 1.



Derselbe Autor<sup>1)</sup> stellte vor einigen Jahren die Vermuthung auf, es möchten die Fäulnissgase, wenn sie ins Blut gelangten, dieses und den ganzen Körper geeigneter machen, als Nährboden für Infectionserreger zu dienen, nachdem er beobachtet hatte, dass sterile Nährlösungen, welche der Einwirkung von Fäulnissgasen einige Zeit ausgesetzt waren, schneller faulten, wenn sie inficirt wurden, als die gleichen Nährlösungen, welche vor Fäulnissgasen geschützt waren. Es wären somit die Fäulnissgase und die durch sie verunreinigte Luft als ein besonders wichtiges Moment für das Zustandekommen von Infectionskrankheiten anzusehen. Diese Hypothese wurde aber alsbald von BUCHNER<sup>2)</sup> widerlegt, welcher die eigenthümliche disponirende Wirkung der Fäulnissgase auf eine Aufnahme von Ammoniak und dadurch erhöhte Alkalinität der Nährlösungen zurückführte, welcher Vorgang selbstverständlich beim lebenden Blute nicht in Betracht kommen kann. Ueberdies widersprechen einer derartigen Auffassung der gasförmigen Verunreinigungen der Luft die epidemiologischen Thatsachen, wie unter „Volkskrankheiten“ gezeigt werden wird.

Gleichwohl hat die Hygiene allen Grund, auch jenen unmessbaren Verunreinigungen der Luft, welche sich dem menschlichen Geruchsorgane als schlechte, widerliche, verdorbene Luft bemerklich machen, ihr Augenmerk zuzuwenden und zu verlangen, dass die Athemluft in allen Fällen frei sei von übel riechenden Stoffen, welcher Art sie auch immer sein mögen. Welche Mittel in solchen Fällen zu Gebote stehen, um eine wünschenswerthe Reinheit der Athemluft zu erzielen, kann der Besprechung der Einzelfälle in den verschiedenen Capiteln: „Kleidung“, „Wohnung“, „Schulen“, „Gefängnisse“, „Krankenhäuser“ und „Fabriken“ überlassen bleiben; nur im Allgemeinen möge angedeutet werden, dass grösste Reinlichkeit des Individuums und seiner Umgebung, sowie bei Ausübung seiner Beschäftigung in erster Linie den erwähnten Schädlichkeiten zu steuern im Stande ist, in zweiter Linie aber auch geeignete Ventilation der zum dauernden Aufenthalte dienenden Räume. Die Menschen haben es gelernt, einen sehr bedeutenden Factor der Luftverunreinigungen aus ihren Wohnungen zu beseitigen, den Rauch der Feuerungsmaterialien; noch erübrigt ihnen, auch die ganze Menge der übrigen Luftverunreinigungen zu bekämpfen und dies nicht nur in den Wohnstätten, sondern auch in der Luft der Städte. Ein solcher Kampf kann aber nicht mit dem Mittel der Ventilation allein geführt werden, sondern er hat sich zunächst gegen die Quellen der Verunreinigungen zu

1) WERNICH, Grundriss der Desinfectionslehre. S. 79.

2) Aertztliches Intelligenzblatt. 1880. S. 545.

wenden und ist daher Alles, was zur Erhöhung der Reinlichkeit dient, als zweckmässige Waffe zur Beseitigung schlechter Luft zu benutzen.

## 7. Die Wärme.

Der menschliche Organismus verliert in Folge seiner höheren Temperatur, welche durch die beständig in ihm vor sich gehenden Oxydationsprocesse bedingt ist, unausgesetzt Wärme an seine Umgebung, hauptsächlich an die umgebende Luft; da nun die Erhaltung einer bestimmten Körpertemperatur von grösster Wichtigkeit für alle im Organismus ablaufenden Vorgänge ist, so kommt auch den wechselnden Temperaturverhältnissen der umgebenden Luft eine hohe Bedeutung für die Wärmeökonomie des Körpers zu.

Die Wärmemengen, welche im Tage von einem Erwachsenen producirt werden und je nach Maassgabe der Zersetzungs Vorgänge beträchtlichen Schwankungen unterliegen, sind sehr bedeutend, wie folgende Zusammenstellung zeigt, in welcher, wie auch im weiteren Texte, unter einer Wärmeeinheit (W.-E.) diejenige Wärmemenge zu verstehen ist, welche nöthig ist, um 1 Grm. Wasser von 0° auf 1° C. zu erwärmen.

### TABELLE LXVIII.

#### Wärmeproduction beim Menschen in 24 Stunden.

Nach BARRAL <sup>1)</sup>	Kind von 6 Jahren . . . . .	1 461 334 W.-E.
	Mann von 29 Jahren bei $-0,5^0$ C. . .	3 677 820 "
	Der gleiche " $+20,2^0$ C. . .	2 706 076 "
	Mann von 59 Jahren . . . . .	3 103 536 "
	Frau von 32 Jahren . . . . .	2 928 831 "
Nach RANKE <sup>2)</sup>	Erwachs. Mann bei Hunger . . . . .	2 012 816 "
	" " " Fleischkost . . . . .	2 779 524 "
	" " " stickstoffloser Kost . . . . .	2 059 506 "
	" " " gemischter " . . . . .	2 200 000 "
Nach RUBNER <sup>3)</sup>	(berechnet aus der Nahrungsmenge, welche von verschiedenen Autoren beobachtet wurden)	
	Mittlerer Arbeiter . . . . .	2 843 000 "
	Erwachsener hungernd . . . . .	2 303 000 "
	" bei leichter Arbeit . . . . .	2 631 000 "
	" bei mittlerer " . . . . .	3 121 000 "
	" bei schwerer " . . . . .	3 659 000 "

1) LUDWIG, Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Bd. 2. S. 748.

2) RANKE, Lehrbuch der Physiologie. III. Aufl. S. 567.

3) RUBNER, Calorimetrische Untersuchungen. Zeitschrift f. Biologie. Bd. 21. S. 352.

Nach HELMHOLTZ 1)	. . . . .	2 732 472 W.-E.
= LEYDEN 2)	. . . . .	2 376 000 =
= SCHARLING 3)	. . . . .	3 168 000 =
= VOGEL 4)	. . . . .	2 400 000 =

Es verliert somit der Körper des Erwachsenen im Tage ungefähr 3 Millionen Wärmeeinheiten, welche auf verschiedenen Wegen — Haut, Lunge, Ausscheidungsorgane — abfliessen und wobei dreierlei verschiedene physikalische Vorgänge thätig sein können: Wärmestrahlung, Wärmeleitung oder Wärmebindung durch Verdunstung von Wasser.

Unter den Organen, welche die Wärmeabgabe besorgen, steht obenan das Hautorgan, da von ihm die Hauptmenge der Wärme abfliesst; obwohl seine Oberfläche viel geringer ist als die der Respirationsorgane (2 □Mt. gegen 200 □Mt.) übertrifft es letztere doch, da von ihm Wärme auch durch Strahlung abgegeben wird, welcher Factor bei der Respiration gleich Null gesetzt werden kann, und da ferner die Luftmengen, welche mit der Körperoberfläche in Berührung treten und Wärme durch Leitung entziehen, viel bedeutender sind als die Luftmengen, welche in gleicher Zeit die Lungen passiren. Den geringsten Antheil nehmen die Ausscheidungsorgane, Nieren und Darm.

Nach HELMHOLTZ 5) vertheilt sich die Wärmeabgabe folgendermaassen:

Auf das Hautorgan treffen . .	77,5 %	Wärmeverlust
= die Lunge . . . . .	19,9 =	=
= die Erwärmung der Speisen . .	2,9 =	=

Nach VIERORDT 6) treffen

auf das Hautorgan . . . . .	86,9 %	Wärmeverlust
= die Lunge . . . . .	11,1 =	=
= Koth und Harn . . . . .	2,0 =	=

ROSENTHAL 7) berechnet den Wärmeverlust durch die Haut auf circa 85 %.

Dieser Wärmeabfluss von der Haut erfolgt nun in der mannigfachsten Weise, wobei aber fast immer die drei Factoren der Verdunstung, Strahlung und Leitung gleichzeitig thätig sind.

Die Verdunstung anlangend, so wurde schon oben (Feuchtigkeit S. 164) gezeigt, dass dieselbe immerwährend thätig ist, es verdunstet Wasser von der Haut auch wenn dieselbe sich vollkommen

1) Encyklopädisches Wörterbuch der med. Wissenschaften. Bd. 35. S. 523.

2) D. Arch. f. klin. Med. Bd. 5. S. 273. 3) Journ. f. prakt. Chem. Bd. 48. S. 435.

4) Archiv des Vereins für wissenschaftl. Heilkunde. 1864. S. 442.

5) HELMHOLTZ l. c. S. 562.

6) Physiologie des Athmens. S. 226.

7) Hermann's Physiologie. Bd. 4. Abth. 2. S. 377.

trocken anfühlt. Selbst in Luft von 100% relativer Feuchtigkeit ist die Wärmeabgabe durch Verdunstung noch möglich, solange ihre Temperatur unter der des Körpers bleibt; es erwärmt sich in diesem Falle die Luft am wärmeren Körper und wird damit fähig Wasser aufzunehmen, welches allerdings bald darauf wieder in den flüssigen Aggregatzustand übergeht. So erklärt sich das Dampfen der Haut, welches man besonders beim Verlassen des Bades beobachtet. Luft von Körpertemperatur oder darüber und mit Wasserdampf gesättigt muss dagegen die Verdunstung gänzlich aufheben. Es ist somit der Feuchtigkeitsgehalt der Luft, wie schon früher erwähnt, von grösstem Einflusse bei der Einwirkung hoher Temperaturen; trockne heisse Luft kann viel besser ertragen werden als feuchte heisse Luft, und wird es so verständlich, wie selbst Temperaturen über 100° C. vorübergehend ertragen wurden (s. unten). Die Wärmemengen, welche unter Umständen durch Verdunstung der Haut entzogen wurden, sind sehr beträchtlich. Nimmt man jenen Fall von VOIT und PETTENKOFER, wo im Tage durch Respiration und Perspiration 2000 Grm. Wasser verdunstet wurden <sup>1)</sup>, und zieht man davon 300 Grm. für die Verdunstung auf der Lungenoberfläche ab, so bleiben für die Haut 1700 Grm., welche als Wasser von circa 35° C. zur Verdunstung 972740 W.-E. bedürfen (1 Grm. Wasser von 35° C. bindet nach REGNAULT beim Verdampfen 572,2 W.-E.<sup>2)</sup>) Da dieser Fall noch keinen extremen Fall repräsentirt, da er bei normaler Temperatur und normaler relativer Feuchtigkeit der Luft beobachtet wurde, so kann man annehmen, dass bei ungünstigeren Verhältnissen, welche eine energischere Schweissproduction veranlassen, ein Drittel, ja vielleicht sogar die Hälfte der gesammten Wärmeabgabe durch Wasserverdunstung auf der Haut bewerkstelligt werden kann.

Der Wärmestrahlung von der Körperoberfläche fällt ein um so grösserer Antheil an der Entwärmung des Körpers zu, je kälter unter sonst gleichen Verhältnissen die Umgebung des Menschen ist. Wesentlich beeinflusst wird die Wärmestrahlung durch die Kleidung, welche, nachdem sie auf gleiche Temperatur wie die Körperoberfläche erwärmt ist, die Wärmestrahlung von den bekleideten Hautpartien fast gänzlich aufhebt, ihrerseits aber die ihr zugeleitete Wärme durch Strahlung und Leitung wieder an die weitere Umgebung abfliessen lässt. (Siehe Kleidung und Hautpflege in diesem Handbuche.) Zahlen für die Grösse der Wärmestrahlung von der Haut anzugeben, ist nicht wohl möglich, da die Verhältnisse zu complicirt sind und

1) S. oben S. 161.      2) MÜLLER, Lehrbuch der Physik und Meteorologie. 8. Aufl. Bd. 2. Abth. 2. S. 369.



besonders eine Trennung der Wärmemengen, welche durch Strahlung und jener, welche durch Leitung abgegeben werden, der Berechnung und dem Experimente kaum zugänglich erscheint. Aufgehoben kann dieselbe nur dann werden, wenn der Körper in einem Raume sich befindet, dessen Umgrenzungen und dessen Luftinhalt eine Temperatur von  $37^{\circ}$  oder darüber besitzt. In solchem Falle ist aber auch die Wärmeleitung aufgehoben und kann von der Haut nur noch durch Verdunstung Wärme abgegeben werden, soferne die Luft nicht mit Wasserdampf gesättigt ist.

Auch die quantitativen Verhältnisse der Wärmeleitung lassen sich nicht wohl in Zahlen ausdrücken, da durch die Kleidung eine wesentliche Modification dieses Factors erfolgen muss. Je grösser im Allgemeinen die Temperaturdifferenz zwischen Körper und den mit ihm in Berührung tretenden Körpern der Umgebung (Kleidung, Luft) ist, um so mehr Wärme wird an letztere durch Leitung abgegeben, gleichzeitig aber auch durch Verdunstung. Von grösster Bedeutung erweist sich hierbei die Bewegung der Luft, je bewegter dieselbe ist, um so grössere Luftvolumina treten mit dem Körper in Contact und um so mehr Wärme wird demselben entzogen. So erklärt es sich, dass eine bewegte Luft immer als kälter empfunden wird als eine ruhige Luft von gleicher Temperatur.

Körper, welche die Wärme besser leiten als Luft, entziehen mehr Wärme als diese; so dient das besser leitende Wasser in Form von Uebergiessungen und Bädern nicht nur den Zwecken der Reinigung der Körperoberfläche, sondern auch der Entwärmung. Während der Aufenthalt in ruhender Luft nur dann angenehm empfunden wird, wenn deren Temperatur  $20\text{--}25^{\circ}$  beträgt, muss Wasser eine solche von  $30^{\circ}$  haben, um das gleiche Wohlbehagen zu verursachen<sup>1)</sup>.

Umgekehrt schützen schlechte Wärmeleiter (Kleidung) den Körper vor zu grosser Entwärmung und ermöglichen so dem Menschen den Aufenthalt in kalter Luft, welche ohne Bekleidung nicht ertragen würde. Nasse Kleider sind gute Wärmeleiter und entziehen dem Körper viel, unter Umständen zu viel Wärme, so dass derselbe erkrankt.

Die eben beschriebenen Vorgänge der Wärmeabgabe werden noch weiter complicirt und regulirt durch die Thätigkeit des dem Hautorgane eigenthümlichen vasomotorischen Apparates, welcher auf thermische Reize hin reflectorisch entweder eine Erweiterung oder eine Verengung der Hautgefässe und damit eine vermehrte oder vermin-

1) ROSENTHAL, Hermann's Physiologie. Bd. 4. Abth. 2. S. 380.

derte Zufuhr von Blut zur Peripherie auslöst, wodurch im einen Falle vermehrte Wärmeabgabe, im anderen eine Ersparniss erzielt wird. In der Kälte sind die Hautgefäße contrahirt, die Haut wird blass und kalt und damit die Intensität der Wärmeabgabe herabgesetzt; umgekehrt erschaffen die Hautgefäße in warmer Umgebung, sie werden stärker mit Blut gefüllt und die Temperatur der Haut erhöht; dadurch wird es aber möglich, mehr Wärme durch Strahlung und Leitung abzugeben und auch die Verdunstung wird vermehrt, indem bei reichlicherer Blutzufuhr die Schweissdrüsen in erhöhte Thätigkeit gerathen. In diesem Apparate besitzt der Organismus ein Mittel, innerhalb gewisser Grenzen seine Eigentemperatur auf normaler Höhe zu erhalten. Werden diese Grenzen nach oben oder unten überschritten, so leidet der Körper Schaden, indem entweder seine Temperatur über die Norm steigt oder unter dieselbe sinkt, wodurch Störungen in den Functionen der Organe veranlasst werden, von denen weiter unten die Rede sein wird.

Was die Wärmeabgabe von der Oberfläche der Respirationsorgane anlangt, so ist dieselbe viel leichter der Berechnung zugänglich, da hier nur Wärmeleitung und Verdunstung thätig sind. Was zunächst die Verdunstung anlangt, so ergeben sich die unter den verschiedensten Verhältnissen durch sie veranlassten Wärmeverluste aus Tabelle XLVI (S. 162) unter der Annahme, dass das Wasser daselbst bei einer Temperatur von 37° C. verdampft, wie folgt:

TABELLE LXIX.

**Wärmemengen, erforderlich zur Befeuchtung von 9000 Litern  
Athemluft.**

Temperatur der		Relative Feuchtigkeit der Inspirationsluft				
Inspirations- luft	Expirations- luft	0%	25%	50%	75%	100%
— 10	+ 30	155554	152684	149814	146944	143500
0	32,7	179662	173348	167034	160720	154406
+ 5	33,9	191142	182532	173922	165312	156702
10	35,0	203196	191142	179088	166460	154406
15	36,0	214102	197456	180810	164164	148092
20	36,9	223860	202048	179662	156128	135464
25	37,2	277304	198030	168182	138908	109634
30	37,5	229600	192290	153258	114226	75194

Für die Erwärmung der Athemluft sind nach KRIEGER <sup>1)</sup> bei einem Athemvolumen von 9000 Litern folgende Wärmemengen nöthig:

1) Zeitschrift für Biologie. Bd. 5. S. 448.

TABELLE LXX.

Wärmemengen für die Erwärmung von 9000 Litern Athemluft.

Temperatur		Wärmeeinheiten
der inspirirten	der expirirten Luft	
— 10° C.	+ 30	119880
0	+ 32,7	96120
+ 5	33,9	83880
10	35,0	71820
15	36,0	59670
20	36,9	47610
25	37,2	34020
30	37,5	20790

Es berechnen sich somit aus Tabelle LXIX und LXX die Wärmemengen, welche in 9000 Litern Athemluft in 24 Stunden von der Lungenoberfläche abgegeben werden, bei verschiedener Temperatur und verschiedenem Feuchtigkeitsgehalte der Luft wie folgt:

TABELLE LXXI.

Wärmemengen, welche den Körper mit 9000 Litern Athemluft verlassen.

Temperatur der inspirirten Luft	Relative Feuchtigkeit				
	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
— 10	275434	272564	269694	266824	263380
0	275782	269468	263154	256840	250526
+ 5	275022	266412	257802	249192	240582
10	275016	262962	250908	238280	226226
15	273772	257126	240480	223834	207762
20	271470	249658	227272	203738	183074
25	261324	232050	202202	172928	143654
30	250390	213080	174048	135016	95984

Es treffen demnach auf die Respiration je nach den Umständen circa 5—15% der unter normalen Verhältnissen abfließenden Wärmemengen.

*Einwirkung niederer Temperatur.*

Wie schon oben erwähnt, ist der Organismus an und für sich durch seinen wärmereregulirenden Apparat in die Lage versetzt, innerhalb gewisser Grenzen sich vor einem schädlichen Wärmeverluste zu schützen; den gleichen Zweck erreicht der Mensch ferner durch die Bekleidung und die Wohnung, indem er in diesen beiden Fällen seinen Körper in eine abgegrenzte Atmosphäre versetzt, welche er entweder mit der eigenen Wärme oder mit künstlich erzeugter Wärme

auf eine Temperatur bringt, welche einen zu raschen Wärmeverlust verhindert. Andererseits kommt aber auch eine erhöhte Wärmeproduction, welche durch eine vermehrte Thätigkeit der Muskeln eingeleitet werden kann, dem Körper zu Hilfe. Erfahrungsgemäss sind Personen, welche frieren, nicht im Stande, sich ruhig zu verhalten; sie gehen umher und suchen sich durch Bewegung warm zu machen. Aber auch wenn solche willkürliche Bewegungen aus irgend einem Grunde unterdrückt werden, beobachtet man eine Vermehrung der Kohlensäureausscheidung, welche nach VOIT<sup>1)</sup>, welcher diese Beobachtung am Menschen machte, auf einen reflectorisch durch den Kältereiz ausgelösten erhöhten Tonus der Muskeln zurückgeführt werden muss. VOIT fand bei einer Temperaturerniedrigung von  $9,9^{\circ}\text{C}$ . unter die normale Temperatur von  $14\text{--}15^{\circ}$  eine Vermehrung der Kohlensäureausscheidung bis zu 36 % und schliesst daraus, dass man nur eine Steigerung des Zerfalles der stickstofffreien Stoffe ableiten könne.

Ebenso, d. h. rein reflectorisch, werden die unwillkürlichen Bewegungen, Schauern, Zittern, Krampf der Athemmuskeln durch Kältereize ausgelöst, und zwar können solche schon durch geringe Wärmezuziehungen, wenn dieselben nur plötzlich erfolgen oder eine besonders empfindliche Hautstelle treffen (z. B. beim Auftreffen bewegter, selbst warmer Luft auf eine mit Schweiss bedeckte Hautpartie oder beim Eintauchen in Wasser) hervorgerufen werden.

Die durch den Kältereiz verursachte erhöhte Thätigkeit der Muskeln veranlasst ihrerseits wieder eine grössere Nahrungsaufnahme und wird somit dem Körper neues Brennmaterial zugeführt. In kalten Gegenden und im Winter ist das Nahrungsbedürfniss ein grösseres als in warmer Luft, und wenn es sich darum handelt, extrem niedere Temperaturen längere Zeit zu ertragen, sind Individuen, welche grosse Nahrungsmengen zu verdauen im Stande sind, im Vorzug gegenüber jenen, deren Verdauungskanal dieselben nicht zu bewältigen im Stande ist. Man erzählt, dass die Walfischfänger auf ihre Expeditionen nur solche Matrosen mitnehmen, welche ein grosses Quantum Speise ertragen können (VOIT l. c.). Immerhin aber scheinen die Nahrungsmengen, welche wirklich unter dem Einflusse andauernder grosser Kälte eingenommen werden, nicht so gross zu sein, wie man früher auf Grund fabulirender Reisebeschreibungen annahm.

Unwillkürliche Wärmeregulation, vermehrte Nahrungsaufnahme, vermehrte Muskelthätigkeit, Kleidung und Wohnung kommen somit

---

1) Zeitschrift für Biologie. Bd. 14. S. 78.



dem Menschen zu Hilfe bei Bekämpfung niederer Temperaturen und haben es ihm ermöglicht, bis zu den kältesten Punkten der Erde vorzudringen und dennoch die Eigentemperatur zu bewahren. Fehlt jedoch eines oder mehrere dieser Mittel, so wird dem Körper zu viel Wärme entzogen, es sinkt seine Eigentemperatur und so erfolgt schliesslich der Tod durch Erfrieren, welcher bekanntlich durch grosse Müdigkeit und Schlafsucht, Sinken des Pulses und der Athemthätigkeit eingeleitet und durch Lähmung der Muskel- und Nerven- thätigkeit, Gerinnung des Blutes unter starkem Absinken der Temperatur herbeigeführt wird. Während bei Einwirkung niederer Temperaturen anfangs die Hautgefässe in Folge des Kältereizes sich contrahiren und dadurch ein zu grosser Wärmeverlust verhindert wird, tritt bei längerem Aufenthalte in kalter Luft eine Lähmung derselben ein, in Folge deren sie stark erweitert werden, und wird so die Wärmeabgabe wieder erhöht und die Gefahr des Erfrierens wieder beschleunigt.

Es wird dies besonders an den gewöhnlich nicht bekleideten Körperteilen beobachtet und hier wieder besonders an Organen, welche eine relativ (zu ihrem Volumen) grosse Oberfläche darbieten, Nase, Ohren, Finger, Zehen; während sie anfangs blass erscheinen, werden sie in der Kälte bald roth und bläulich, um später beim Erfrieren wieder blass zu werden; bei partiellen Erfrierungen beobachtet man Blässe der Haut, welche erst beim Wiederaufthauen einer bläulichen Verfärbung in Folge von Gefässlähmung weicht <sup>1)</sup>. Man unterscheidet verschiedene Grade der localen Erfrierung; KÜSTER 3, FREMMERT und LUPPIAN, sowie SONNEBURG 5 Grade. Ersterer Eintheilung folgend, wird der erste Grad charakterisirt durch Hautröthung und mässige Schwellung, welche meistens nach Tagen wieder verschwindet, zuweilen aber auch eine dauernde bleibt; im zweiten Falle kommt es in Folge der verlangsamten Circulation zu Stase und damit zu Blasenbildung, welche entweder keinen oder nur einen oberflächlichen Substanzverlust herbeiführt. Der dritte Grad umfasst die Formen der Frostgangrän vom Hautbrand bis zum Brande eines ganzen Gliedes.

Die Prophylaxe gegen Erfrierungen bedarf kaum einer besonderen Besprechung, indem Schutz des Körpers durch Kleidung und Wohnung, sowie genügende Nahrungszufuhr nach dem Vorhergehenden sich als die einzigen Hilfsmittel von selbst ergeben; immerhin

---

1) KÜSTER, Artikel „Erfrierung“ in Eulenburg's Realencyclopädie der ges. Heilkunde.

ist zu erwähnen, dass ein sehr populäres Mittel gegen den Frost der Alkohol nur bedingt als solches anerkannt werden kann. Solange es sich darum handelt, sich nur vorübergehend, kurze Zeit, intensiver Kälte auszusetzen, ist der Alkohol in Folge seiner gefässlähmenden Eigenschaft wohl im Stande, die Einwirkung der Kälte weniger fühlbar zu machen; es strömt mehr Blut nach der Peripherie und dieselbe erkaltet langsamer. Sobald aber eine gewisse Grenze der Dauer der Kältewirkung, welche für verschiedene Individuen eine verschiedene ist, überschritten wird, gereicht diese Wirkung des Alkohols dem Organismus geradezu zum Schaden, wenn nicht andere Mittel die Wärmeproduction zu erhöhen im Stande sind. Der Säuffer verschwendet gewissermaassen seine Wärme schon im Anfange der Kälteeinwirkung, es bleibt ihm nichts für spätere Zeit; er erfriert *ceteris paribus* früher als derjenige, welcher keinen Alkohol genießt.

Als eine besondere Art der Wärmeentziehung ist der Vorgang der Erkältung zu betrachten. In früheren Zeiten und noch bis in die Gegenwart herein spielte die Erkältung eine Hauptrolle in der Aetiologie der meisten, hauptsächlich internen Krankheiten. In neuester Zeit wird dagegen in Folge klarerer biologischer Vorstellungen diese Rolle immer mehr beschnitten und musste selbst die früher als das Prototyp aller Erkältungskrankheiten erklärte Pneumonie ihren Charakter ablegen, indem sie als infectiöse Krankheit erkannt wurde.

Immerhin ist die Annahme eines Erkältungsvorganges als Ursache verschiedener Erkrankungen noch immer nicht entbehrlich geworden, so schwer es auch fällt, denselben vollkommen mit den modernen physiologischen und pathologischen Anschauungen in Einklang zu bringen.

Es ist noch kaum möglich, eine bestimmte Definition des Wesens der Erkältung zu geben. Allen Versuchen hierzu ist nur das eine Moment gemeinsam, dass unter dem Einflusse gewisser Wärmeentziehungen Störungen im Organismus eintreten, aber schon bei näherem Eingehen auf die Qualität der Wärmeentziehung und noch mehr bei dem Versuche der Erklärung der hierdurch bedingten Vorgänge im Körper, weichen die Meinungen der einzelnen Autoren weit voneinander ab. So kommt es, dass heutzutage eine Anzahl von Hypothesen noch gleichberechtigt nebeneinander stehen<sup>1)</sup>; vollkommen abgethan erscheint nur die noch bis in die neuere Zeit hineinragende sogenannte Retentionstheorie, welche die Erkältungskrankheiten als

---

1) Eine kritisch-historische Skizze über die verschiedenen Theorien gibt FALK im Arch. f. Anat. u. Phys. von Reichert und Dubois-Reymond. 1874. Heft 2. S. 159.

Folgen unterdrückter Hautausscheidung auffasste. Gegen dieselbe spricht hauptsächlich die Thatsache<sup>1)</sup>, dass Erkältungen auch von kleinen Hautdistrikten aus ausgelöst werden können, in welchem Falle doch nicht von einer vollkommenen Aufhebung der Perspiratio insensibilis die Rede sein kann, dass ferner bei wirklicher, durch Ueberfirnissen der Hautoberfläche unterdrückter Hautsecretion keine derartigen Krankheitserscheinungen auftreten, wie die Erkältungskrankheiten sie darbieten, ferner dass Stoffe, welche im Körper dieselben Wirkungen hervorzurufen im Stande wären, gänzlich unbekannt sind. Unterdrückung der Hautsecretion findet in der Kälte immer statt; wäre die dadurch behinderte Ausscheidung irgend welcher eingebildeter Stoffe die Ursache der Erkältung, so müsste immer bei Einwirkung niederer Temperatur Erkältung auftreten, was jedoch thatsächlich nicht der Fall ist.

Unter den noch zu Recht bestehenden Hypothesen verdienen folgende Erwähnung:

PETTENKOFER<sup>2)</sup> stellt sich den Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung in der Weise vor, dass durch den Kältereiz die Hautgefäße in Contraction versetzt werden, das Blut nach den inneren Organen strömt und so der Blutdruck daselbst erhöht wird; es entsteht eine sogenannte collaterale Hyperämie, welche in Entzündung übergehen kann. Als besonderes Hilfsmoment nimmt PETTENKOFER die Einseitigkeit der Abkühlung zu Hilfe, wodurch eine plötzliche Contraction sämmtlicher Hautgefäße ausgelöst und der wärmeregulirende Apparat in Unordnung gebracht wird. Wesentlich gestützt wird diese Auffassung durch das statistisch erwiesene häufigere Vorkommen von Apoplexien während der kälteren Jahreszeit<sup>3)</sup>.

ROSENTHAL<sup>4)</sup> beobachtete an Thieren, welche längere Zeit sehr hoher Temperatur ausgesetzt waren, ein Absinken der Körpertemperatur selbst unter die Norm, wenn sie nachher in Luft von geringerer Temperatur gebracht wurden, und glaubt, dass auch beim Menschen, wenn er erhitzt sich niederer Temperatur aussetzt, das plötzlich in der Peripherie abgekühlte Blut pathogenetisch auf die inneren Organe wirke.

Weiterhin wird sehr vielfach der Erkältungsvorgang als ein re-

---

1) SEITZ, Ziemssen's Handbuch der Pathologie. Bd. 13. I. S. 254.

2) Populäre Vorträge. Heft 1. S. 71.

3) Verhandlungen der deutschen Gesellschaft für öffentl. Gesundheitspflege. Sitzung vom 17. März 1874.

4) ROSENTHAL, Zur Kenntniss der Wärmeregulirung bei den warmblütigen Thieren. Erlangen 1872.

flectorischer Akt angesehen. Der auf die sensiblen Nerven der Haut einwirkende Kältereiz wird durch die nervösen Centralorgane auf andere sensible oder auch trophische Nerven übergeleitet und so je nach der Individualität in verschiedenen, selbst von der Einwirkungsstelle weit entfernten Organen eine Störung hervorgerufen. So erklärt SEITZ <sup>1)</sup> die verschiedenen Vorkommnisse nach Erkältungen auf folgende Weise. Wird der Erregungszustand von den Hautnerven aus auf sensible Nerven übertragen, so entstehen rheumatische Schmerzen, Erkältungsneuralgien; werden die vasomotorischen Centren betroffen, so können Hyperämien in gewissen Gefässdistrikten die Folge sein; geht die Erregung auf trophische Nerven über, von denen man leider noch recht wenig weiss, so entstehen Entzündungen, und endlich treten fieberhafte Erscheinungen auf, wenn die Centren der Wärmeregulirung betroffen werden.

Ebensowenig wie über den pathologischen Vorgang im Organismus besteht darüber Einigkeit, welcher Art eine Wärmeentziehung sein müsse, um eine Erkältung hervorzurufen. Allgemein wird wohl anerkannt, dass nicht extrem niedere Temperatur der umgebenden Luft unbedingt erforderlich sei; man erkältet sich im Sommer beim Uebergange aus ruhenden in bewegte Luftpartien von gleicher Temperatur; ebensowenig erscheint es nöthig, dass die Wärmeentziehung auf die ganze Hautoberfläche einwirke; derartige Abkühlung, wie sie z. B. bei Douchen und Bädern vorgenommen wird, wird meist ohne Erkältung ertragen. Die Mehrzahl der Erkältungen erfolgt wohl von einer kleineren Hautpartie aus, am meisten von einer gewöhnlich durch Haare (Bart) oder durch Bekleidung geschützten Stelle aus, wenn diese vorübergehend der Luft exponirt wird. So erkälten sich Viele jedesmal nach dem Schneiden der Haare oder des Bartes, beim Uebergang von der Winterkleidung zur Sommerkleidung durch einseitige Abkühlung eines Theiles ihrer Haut.

Wesentlich wird das Zustandekommen einer Erkältung ermöglicht, wenn die Gefässe der Haut aus irgend welchem Grunde stark erweitert sind, die Haut feucht oder mit Schweiss bedeckt ist und nun kalte Luft oder auch nur bewegte Luft zur Einwirkung gelangt; die hierbei erfolgende Wasserverdunstung entzieht der Haut noch mehr Wärme als durch die Abkühlung allein' (durch Leitung und Strahlung) der trocknen Haut entzogen würde. SEITZ (l. c.) erachtet besonders die Dauer der Einwirkung der Schädlichkeit als wichtig für das Auftreten einer Gesundheitsstörung, ohne jedoch leugnen zu

---

1) SEITZ l. c. S. 258.



wollen, dass auch ganz vorübergehende Einwirkungen unter Umständen schon Krankheitserscheinungen hervorzurufen vermögen, wie z. B. empfindliche Personen schon im Momente des Auftreffens eines kalten Luftstromes auf ihre Wange oder den Nacken Zahnweh oder einen Rheumatismus bekommen.

Bei vielen Menschen bleibt nach erstmaliger Erkältung eine besondere Schwäche der befallen gewesenen Organe zurück, so dass bei wiederholt einwirkender Schädlichkeit immer wieder das gleiche Organ erkrankt; man spricht in diesem Falle von einem *Locus minoris resistentiae*.

Die Prophylaxe gegen Erkältungskrankheiten beruht sowohl in genügendem Schutze empfindlicher Hautpartien gegen Wärmeentziehung — richtige Bekleidung, Vorsicht beim Schneiden der Haare und des Bartes — als auch in einer Uebung des Hautorganes im Ertragen von Kältereizen. Bäder und kalte Waschungen sind neben guter Kleidung die besten Schutzmittel gegen Erkältungen, da durch sie, wenn systematisch angewendet, das Hautorgan abgehärtet wird und sowohl seine nervösen als auch musculösen Apparate geübt werden, in einer Weise auf Kältereize zu reagiren, welche dem Körper keinen Schaden bringt. Kalte Waschungen und Bäder sind Turnen der glatten Hautmuskeln (DUBOIS-REYMOND)<sup>1)</sup>.

### *Hohe Temperaturen.*

Dem normalen Menschen in bekleidetem Zustande ist eine Temperatur von 20° C. am behaglichsten. Geringe Steigerungen der Temperatur über 20° werden zunächst gut ertragen, besonders wenn dem Individuum möglich ist, die Kleidung entsprechend zu ändern, d. h. sich leichter zu kleiden, und wenn die Feuchtigkeit der Luft eine so geringe ist, dass eine ergiebige Verdunstung von Wasser von der Körperoberfläche und damit eine gesteigerte Wärmeabfuhr erfolgen kann. Unter solchen Verhältnissen können selbst sehr hohe Temperaturen, wenn auch nur vorübergehend, ohne Schädigung der Gesundheit ertragen werden. ROSENTHAL<sup>2)</sup> stellt eine Anzahl von Beobachtungen über das Ertragen abnorm hoher Temperaturen zusammen.

FORDYCE konnte in einem durch Ofenröhren und kochendes Wasser geheizten Zimmer nacheinander ertragen:

10 Minuten lang	43,33°
20       "       "	48,88°
15       "       "	48,3—54,4°.

1) Ueber die Uebung. Rede. Berlin 1881.

2) Hermann's Physiologie. Bd. 4. Abth. 2. S. 335.

Das Thermometer unter der Zunge stieg nicht über 37,78°. Diese Versuche waren in feuchter Luft angestellt worden. In trockner Luft dagegen konnten BANKS, BLAGDEN und FORDYCE noch bei 92,22° C. 10 Min. lang verweilen, BANKS allein hielt sogar 7 Min. bei einer Temperatur von 99,44° aus, wobei das Thermometer unter der Zunge nicht über 36,67° stieg. BLAGDEN<sup>1)</sup> war sogar im Stande, in einem Ofen bei trockner Luft 127,8° C. 8 Min. lang und bei 110° 12 Min. lang auszuhalten; er fühlte dabei ein starkes Unbehagen, welches aber nach einem reichlichen Schweissausbruche wich. In den Versuchen von DOBSON<sup>2)</sup> hielt

eine Person	20 Min.	in trockner Luft	von 94,44°
eine andere	20	= bei	98,88°
eine dritte	10	= =	106,44°

aus. Die Temperatur unter der Zunge betrug 37,5°, 38,6° und 38,89°.

Den Einfluss der relativen Feuchtigkeit demonstrieren sehr gut die Versuche von BERGER und DELAROCHE<sup>3)</sup>. BERGER ertrug in warmer Luft 109,48° 7 Min. lang,

die Luft eines Dampfbades von 41,25—53,75° nur 12 Min.

DELAROCHE = = = = = 37,5 — 51,25° 10½ =

Während man in russischen Dampfbädern überhaupt nur bis zu 56° C. die Temperatur ansteigen lässt, gibt es bei manchen römisch-irischen Bädern Räume, in welchen die Temperatur bis auf 90° erhöht werden kann (Calidarium). Solche Temperaturen würden im Dampfbade nicht ertragen werden, während hier die Verdunstung von der Haut eine Schädigung des Körpers verhindert.

So erklärt sich auch die Beobachtung von STAPFF<sup>4)</sup> in Nordmexiko, wo die eingebornen Arbeiter eines Bergwerkes weit lieber im Freien bei einer Temperatur von 40° C. arbeiteten als im Innern des Bergwerkes, wo die Temperatur nur 25° betrug. Die hier fast nicht bewegte und feuchte Luft vermag trotz ihrer geringeren Wärme dem Körper nicht so viel Wärme zu entziehen, als die bewegte und trockne aber viel wärmere Luft im Freien.

In der Wärme erweitern sich die Hautgefäße und gelangt so mehr Blut nach der Peripherie, die Haut wird allmählich feucht und endlich tritt Schweiss in Tropfenform auf. Nerven und Muskeln er-

1) BLAGDEN, Philosoph. Transact. Bd. 65. S. 111. 484.

2) DOBSON, Ebenda. S. 463.

3) DELAROCHE, Experiences sur les effets, qu'une forte chaleur produit dans l'économie animale. Thèse. Reil's Archiv. Bd. 12. S. 370.

4) Archiv für Physiologie und Anatomie. 1879. Supplementband. S. 75.

schlafen, und es ist eine bekannte Thatsache, dass in den Tropen während des Tages und auch in der gemässigten Zone während heisser Sommerzeit die körperliche Energie herabgesetzt ist; der Mensch vermeidet Arbeitsleistungen, weil diese die Wärmeproduction erhöhen und dadurch die behinderte Wärmeabgabe noch weiter erschweren. Im Uebrigen haben neuere und kritische Untersuchungen dargethan, dass in der Wärme die Zersetzung im Körper ebenso gross ist wie in mittlerer Temperatur. Der Organismus bedarf in heissen Klimaten die gleiche Menge von Nahrung wie in gemässigten; entgegen den Berichten von Reisenden aus früherer Zeit verbrauchen die Bewohner der Tropen ebenso viele Nahrungsstoffe wie die Bewohner unseres Klimas (VOIT)<sup>1)</sup>. Nach den Berichten der österreichischen Expedition nach Siam, China, Japan von C. v. SCHERZER<sup>2)</sup> nimmt ein im südlichen China lebender Arbeiter im Tage im Mittel 902 Grm. Reis auf; für einen mittleren Arbeiter bei uns hat VOIT 896 Grm. Reis mit einem geringen Zusatz einer eiweissreichen Substanz als nöthig berechnet. Auch die Angaben von PLAYFAIR<sup>3)</sup> lassen keinen wesentlichen Unterschied in der Kost in England und in Bombay, namentlich auch nicht bezüglich der stickstofffreien Stoffe erkennen.

VOIT leitet aus seinen Untersuchungen die Lehre ab, dass man in den Tropen gut thue, solche Nahrungsstoffe auszuwählen, welche ihren Zweck der Erhaltung der Körpersubstanz erfüllen und dabei so wenig als möglich Wärme liefern. Hierbei kommt wesentlich die Auswahl zwischen Fett und Kohlehydraten in Betracht. Da nun nach FRANKLAND 1 Grm. Fett 9069 Wärmeeinheiten liefert, 1 Grm. Stärkemehl jedoch nur 3752 W.-E., da ferner 1 Grm. Fett in seiner Wirkung auf die Fettabgabe 1,75 Grm. Kohlehydraten äquivalent ist, so werden bei gleichem Effecte für die Erhaltung des Körpers vom Fett 9069, von der Stärke nur 6566 W.-E. geliefert und erklärt sich so vielleicht der reichliche Genuss von stärkemehlhaltigen Nahrungsmitteln in den Tropen, während in kalten Klimaten das Fett (Thran) eine grössere Rolle zu spielen scheint. Neuere Untersuchungen von RUBNER<sup>4)</sup> ergaben das Verhältniss der Wärmewerthe von Fett zu Kohlehydraten wie 9,3 : 4,1.

Die künstlichen Hilfsmittel, welche dem Menschen zu Gebote stehen, sich gegen Wärme zu schützen, sind Verminderung der Zahl

1) Hermann's Physiologie. Bd. 6. Abth. 1. S. 556.

2) SCHERZER, Bericht der österr. Expedition. Anhang S. 56.

3) Proceedings of the Royal Society. 1853.

4) Zeitschrift für Biologie. Bd. 21. S. 377.

der Kleidungsstücke, dann künstliche Bewegung der Luft durch Fächer, endlich Waschungen und Bäder. Unter Anwendung dieser Mittel vermag der Mensch auch den höchsten in der Natur vorkommenden Temperaturen zu trotzen und selbst Temperaturen von 65° C. (vergl. Theil I dieses Capitels S. 85), sowie noch höhere künstlich erzeugte Wärmegrade, wenn auch nur vorübergehend und mit Mühe, zu ertragen. Wo diese Mittel nicht in ausreichendem Maasse vorhanden sind, muss selbstredend die Eigenwärme des Körpers ansteigen und eine Störung der Gesundheit erfolgen.

Die Störungen der Entwärmung in Folge hoher Temperatur der Luft und der Umgebung machen sich besonders bemerklich bei arbeitenden Individuen, weil hier ausser der verminderten Wärmeabfuhr noch eine vermehrte Wärmeproduction sich geltend macht. Die Erscheinungen, welche beispielsweise bei Tunnelarbeitern beobachtet werden, beschreibt STAPFF<sup>1)</sup> als Beengung, Beklommenheit, kurzes, rasches Athmen, Transpiration am ganzen Körper, welche alle Kleider brühwarm durchnässt, grosses Unbehagen, Mattigkeit, Erschlaffung, gelinde Ohnmachten, schwere unelastische Bewegungen; das Gesicht wird aufgedunsen und -geröthet, ein kalter Trunk erfrischt sehr, noch mehr aber das Waschen der Schläfe und Handgelenke. Die Harnsecretion vermindert sich, der Harn wird sehr concentrirt und bald nach der Entleerung trübe. Die Körpertemperatur steigt unter Umständen bei hoher Tunneltemperatur und Arbeit um 2° C., der Puls um 40—50 Schläge pro Minute; ohne Arbeit ist die Erhebung der Temperatur nur gering, die der Pulsfrequenz fast gleich Null (S. 103).

STAPFF gibt auf Grund seiner vielen an sich und Anderen im Gotthardtunnel gemachten Beobachtungen eine Formel für die Beziehungen zwischen Körperwärme und Pulszahl:

$$P = P^0 \times 1,2209^D,$$

worin  $P$  die Pulszahl im Tunnel,  $P^0$  die normale Pulszahl und  $D$  die Differenz zwischen erhöhter und normaler Körperwärme bedeuten.

Er berechnete sodann auch die Temperaturen, bei welchen unter gleichzeitiger Voraussetzung verschiedener Anstrengungen die Körperwärme von 40 resp. 42° auftritt; bis zu diesen Temperaturen hält STAPFF unterirdische Arbeiten für ausführbar resp. möglich.

Nachstehende Tabelle gibt die Temperaturgrenzen an, bei welchen im Innern der Erde die Ausführung anstrengender Arbeiten noch möglich ist und in der Rubrik: Anstrengung = 0 die Temperatur, bis zu welcher der Mensch überhaupt vorzudringen vermag.

1) Archiv für Anatomie und Physiologie. 1879. Supplementband. S. 91.



TABELLE LXXII.

Körper- temperatur	Temp. unter der Zunge	Pulszahl <sup>a)</sup>	Lufttemperaturen									
			Göschenen <sup>b)</sup>					Airolo <sup>b)</sup>				
			bei einer Anstrengung <sup>c)</sup>									
			0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
40	39,1	125	53,5	49,6	45,7	41,9	38,0	42,8	40,2	37,7	35,1	32,5
42	41,1	187	84,7	80,8	76,9	73,0	69,1	65,4	62,8	60,3	57,7	55,1

a) normale Pulszahl = 76.

b) Die Differenz zwischen der Göschener und Airoloer Seite ist wesentlich bedingt durch die verschiedene Güte der Luft (Trockenheit u. s. w.).

c) Die Abstufung der Anstrengung ist eine derartige, dass 0 = Ruhe, 2 = mittlere Arbeit, 4 = grösste vorübergehende Anstrengung bedeutet.

In solchen Temperaturen ist aber Arbeiten nur möglich bei nacktem oder wenig bekleidetem Körper, da nur so die abzuführende Wärmemenge auch wirklich abgegeben werden kann.

Wird die Entwärmung des Körpers aus irgend welchem Grunde unmöglich, so treten ernste Gefahren auf, deren Symptomencomplexe unter den beiden Bezeichnungen Hitzschlag und Sonnenstich zusammengefasst werden.

Bezüglich Geschichte und Literatur dieser beiden Erkrankungen kann hier auf die vorzügliche Monographie von JACUBASCH <sup>1)</sup> verwiesen werden; hier kann es sich nur darum handeln, eine gedrängte Darstellung über Aetiologie, Symptome und Prophylaxe derselben zu geben.

Der Darstellung von JACUBASCH folgend hat man als Sonnenstich jene Erkrankungsformen aufzufassen, welche ausschliesslich durch die Einwirkung directer Sonnenstrahlen auf den menschlichen Körper entstehen, während unter Hitzschlag und Wärmeschlag eine Krankheit zu verstehen ist, welche das Resultat mehrerer besonders sich auf Märschen geltend machender Factoren ist. Genetisch betrachtet, haben alle drei Erscheinungen das Gemeinsame der Einwirkung hoher Temperaturen auf den Organismus, doch ist die Quelle jener Temperaturen eine verschiedene; bei Sonnenstich die Sonnenwärme, bei Hitzschlag die Muskelthätigkeit und bei Wärmeschlag vorzugsweise hohe Temperatur der Umgebung.

Der Sonnenstich, in unserem Klima eine seltene Erscheinung, entsteht durch Einwirkung der directen Sonnenstrahlen auf den ruhenden Körper, wobei Ermüdung oder Trunkenheit als disponirende

1) JACUBASCH, Sonnenstich und Hitzschlag. Berlin, Hirschwald. 1879.

Momente häufig mitwirken. Es kann hierbei der Tod schon nach wenigen Stunden eintreten, in anderen Fällen wird durch die Inso-lation eine Entzündung (Meningitis) gesetzt, welche den Tod herbeiführt, oder es erfolgt Genesung. Die Ursache des so schnell eintretenden Todes ist in einer moleculären Veränderung des Herzmuskels (Wärmestarre) in Folge ausserordentlicher Temperatursteigerung des Körpers zu suchen. Versuche an Thieren ergaben Temperaturen bis 46° C. (VALLIN<sup>1)</sup>, WOOD<sup>2)</sup>, WALTHER<sup>3)</sup>, JACUBASCH); auch am Menschen wurden Temperaturen über 42° beobachtet.

Die reine Form des Hitzschlages ist der Wärmeschlag, welcher in den Tropen unter dem Einflusse hoher Lufttemperaturen zu Stande kommt; auch hier ist die Erhöhung der Körpertemperatur wie beim Sonnenstiche die Ursache des nachfolgenden Todes, wie die Versuche von OBERNIER<sup>4)</sup>, CLAUDE BERNARD<sup>5)</sup>, LITTEN<sup>6)</sup> u. A. an Thieren beweisen. Die Lufttemperaturen, bei welchen Wärmeschlag bei ganz ruhig dasitzenden und vor Sonnenstrahlung geschützten Individuen auftreten, sind meist über der Körpertemperatur gelegen, doch wurden auch schon geringere Temperaturgrade beobachtet (34,3°, FRIEDEL<sup>7)</sup>).

Geringere als die eben erwähnten Temperaturen werden bei Ruhe ohne Schädigung des Körpers ertragen; wird dagegen Arbeit geleistet und damit die Wärmeproduction im Körper erhöht, so können auch bei einer Lufttemperatur unter 30° die gleichen Erscheinungen auftreten wie beim Wärmeschlag; man spricht alsdann von Hitzschlag, einer besonders beim Militär auf grossen Märschen sehr gefürchteten und manchmal sehr verhängnissvollen Krankheit.

Von wesentlichem Einflusse auf das Zustandekommen des Hitzschlages ist ausser der Höhe der Lufttemperatur die Feuchtigkeit der Luft; je feuchter die Luft, um so weniger Wärme wird dem mit Schweiss bedeckten Körper entzogen, um so leichter kann der Hitzschlag erfolgen; es spricht hierfür die von LONGMORE, GORDON, BROUGHAM u. A. in den Tropen beobachtete Thatsache, dass die meisten Fälle an Hitzschlag kurz vor Beginn der Regenperiode auf-

1) Archiv gén. de médecine. 1870, 1871 und 1872.

2) WOOD, Thermic fever or sunstroke. Philadelphia. 1872.

3) WALTHER, Centralblatt f. d. med. Wissensch. 1867. S. 770.

4) OBERNIER, Der Hitzschlag. Bonn 1867.

5) CLAUDE BERNARD, Vorlesungen über die thierische Wärme, übersetzt von SCHUSTER. Leipzig, Vogel. 1876. S. 311.

6) LITTEN, Virchow's Archiv. Bd. 70. S. 46.

7) FRIEDEL, Beiträge zur Kenntniss des Klimas und der Krankheiten Ostasiens. Berlin 1863.

treten, d. i. zu einer Zeit, wo die Luft schon mit Wasserdampf nahezu gesättigt ist. In Amerika, Peru, in den La Plata-Staaten, in Constantinopel, Italien und Spanien hat man Fälle von Hitzschlag hauptsächlich zur Zeit feuchter Winde (Sirocco, Solano) beobachtet. In Deutschland wurden Fälle bei Temperaturen von  $19^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $21^{\circ}$  C. constatirt, doch war meist Regen oder nahendes Gewitter hierbei verzeichnet (JACUBASCH S. 72 u. 73). Ebenso erweist sich die Verhinderung der Wärmestrahlung insofern als einflussreich, als man beobachtet, dass hauptsächlich Soldaten, welche in der Mitte einer Colonne marschiren, von Hitzschlag befallen werden. Während die in den Aussengliedern Marschirenden noch Wärme an kältere Gegenstände der Umgebung ausstrahlen können, befinden sich die in der Mitte einer Abtheilung Marschirenden zwischen gleich warmen Körpern eingeschlossen und sind somit ausser Stande, Wärme nach den Seiten hin durch Strahlung abzugeben. Ceteris paribus muss im letzteren Falle die Erkrankung früher eintreten als im ersteren.

Unter Umständen kann der Mangel irgend welchen Getränkes sehr verhängnissvoll werden, indem die Schweisssecretion und die durch sie herbeigeführte Wärmeentziehung (durch Verdunstung) nur eine bestimmte Zeit andauern kann. Wird dem Körper nicht Wasser in irgend einer Form zugeführt, so versiegt die Schweisssecretion, die Körperwärme steigt rapid an und es erfolgt der Hitzschlag. Dass die Unterhaltung der Schweisssecretion von besonderer Wichtigkeit ist, dafür sprechen die Erfahrungen der Reisenden in der Sahara; wenigstens berichtet ROHLFS<sup>1)</sup>, dass bei Expeditionen durch die Wüste in Folge der hohen Temperatur und Trockenheit der Luft der Mensch im Tage durchschnittlich 12,5 Liter Wasser zu trinken genöthigt sei, welche zum grössten Theile wohl auf der Haut wieder zur Verdunstung gelangen.

Von wesentlichem Einflusse auf das Auftreten des Hitzschlages erweist sich die individuelle Disposition; wie beim Sonnenstich, sind auch hier alle den Körper schwächenden Momente besonders verhängnissvoll (Trunkenheit, Müdigkeit). Leute, welche des Marschirens ungewohnt sind, junge Rekruten, besonders wenn sie aus übertriebenem Ehrgeize ihre Kräfte überanstrengen, erkranken leichter als die gediente Mannschaft, welche im Ertragen von Strapazen geübt ist.

Auch beim Hitzschlage wie beim Sonnenstiche beobachtet man sehr gesteigerte Körpertemperaturen,  $42$ — $44^{\circ}$  C. Die Symptome, unter welchen derselbe eintritt, beschreibt JACUBASCH folgendermaassen:

1) ROHLFS, 3 Monate in der lybischen Wüste.

Im Stadium prodromale klagen die Betroffenen, nachdem sich schon längere Zeit starker Durst bemerklich gemacht hat, über dumpfen Kopfschmerz, dem später ein Gefühl von Beklemmung auf der Brust und allgemeine Mattigkeit folgen. Das Gesicht ist geröthet, die Augen glänzend, die Haut mit Schweiss bedeckt. Puls frequent und voll. Athmen geschieht mit offenem Munde, die Lippen sind trocken, das Schlucken schmerzhaft, die Stimme heiser. Schweisssecretion nimmt im weiteren Verlaufe immer mehr ab, das Durstgefühl zu, die Haut wird trocken und brennend heiss. Jetzt treten Ohrensausen, Flimmern vor den Augen, Sinnestäuschungen, Angstgefühl auf; die Herzaaction wird stürmisch, der Athem fliegend, die Schwäche nimmt überhand und schliesslich stellt sich Zittern der Glieder und Unsicherheit in den Bewegungen ein. Der Kranke bleibt zurück und stolpert noch einige Zeit mühsam vorwärts, bis er bewusstlos zusammenbricht. Von hier an datirt der eigentliche Anfall, in dessen Verlauf sich ein Irritations- und Depressionsstadium unterscheiden lassen, deren weiterer Verfolg jedoch an dieser Stelle nicht geboten erscheint.

Entsprechend den vorausgehenden Erörterungen gestaltet sich die Prophylaxe des Hitzschlages und Sonnenstiches wie folgt:

Gegen Sonnenstich vermag nur die Vermeidung directer Bestrahlung durch die Sonne zu schützen. Besonders zu vermeiden ist das Schlafen in der Sonne, da im Schlafe die Empfindung der Wärme nicht zum Bewusstsein kommt.

Gegen Wärmeschlag in Folge hoher Temperatur der Umgebung dürften leichte Kleidung, Bäder, kalte Uebergiessungen, ferner bewegte Luft, der Gebrauch des Fächers und die Unterhaltung der Schweisssecretion durch Einnahme kalter, nicht alkoholischer Getränke wirksam sein.

Gleiches gilt auch bezüglich der Prophylaxe des Hitzschlages. Bei richtiger Beurtheilung der Leistungsfähigkeit einer Truppe wird ein Truppenführer übermässig anstrengende Märsche vermeiden oder dieselben zur Nachtzeit ausführen lassen. Lassen sich solche nicht umgehen, so kann durch Entlastung die Arbeitsleistung vermindert, durch geeignete Entkleidung, hauptsächlich Abnehmen der bei der deutschen Armee noch immer gebräuchlichen Cravatte die Wärmeabgabe auf den drei Wegen der Wärmestrahlung, -Leitung und -Bindung erhöht werden. Während früher, wohl aus Furcht vor Erkältung, das Trinken während des Marsches verpönt war, verordnen die neueren Sanitätsordnungen des deutschen Heeres, dass das Trinken auf Märschen zu begünstigen sei. Die Aufnahme kalten Ge-



tränkes wirkt in doppelter Richtung günstig; erstens wird die eingenommene Flüssigkeit auf Kosten des Körpers erwärmt und zweitens wird bei nachfolgender Verdunstung auf der Hautoberfläche Wärme gebunden.

1 Liter Wasser, während eines Marsches getrunken, kann gegen 600 000 W.-E. dem Körper entziehen. Nimmt man an, das Wasser habe  $10^{\circ}\text{C.}$ , so bedarf 1 Liter, um auf Körpertemperatur gebracht zu werden, 27 500 W.-E. Zur Verdunstung von 1 Grm. Wasser bei  $37^{\circ}\text{C.}$  sind erforderlich 572 W.-E., somit für 1 Liter 572 000 W.-E., im Ganzen also wird der Körper durch Einnahme eines Liters Wasser von  $10^{\circ}\text{C.}$  599 500 W.-E. los.

Da, wie oben angeführt, die in der Mitte einer Colonne Marschirenden in erhöhtem Maasse zu Hitzschlag disponirt sind, so ist es zweckmässig, bei grossen Märschen die geschlossene Ordnung aufzulösen, und so den Leuten Gelegenheit zu geben, sich an den Seiten durch Wärmestrahlung besser zu entwärmen.

Ausser den bisher erwähnten Einwirkungen hoher Temperaturen auf den ganzen Organismus gibt es auch locale, durch hohe Temperatur, besonders aber durch strahlende Wärme verursachte Störungen, selbstredend nur auf die Körperoberfläche beschränkt. Die Erscheinungen, welche hierbei beobachtet werden, werden je nach ihrer Intensität verschieden bezeichnet.

Man spricht von einem Erythema solare<sup>1)</sup>, dem einfachsten Grade einer Affection der Haut, bestehend in kurzverlaufender Hyperämie. Bei intensiverer Einwirkung strahlender Wärme kann Dermatitis<sup>2)</sup> entstehen, indem zur Röthung der Haut Entzündung und Transsudation hinzutritt; nach kurzer Zeit (wenigen Tagen, bei empfindlicher Haut genügen schon wenige Stunden) schwindet Röthung und Schwellung unter Abschuppung der Oberhaut. Besonders häufig wird diese Form bei Touristen und zwar hauptsächlich bei Gletscherwanderungen beobachtet, indem von der Oberfläche des Gletschers die Wärme besser reflectirt wird als vom gewöhnlichen Erdboden. Auch nach kurzer Einwirkung von Flammen und heissen Dämpfen kann Erythema und Dermatitis auftreten.

Noch höhere Grade von Hautaffectionen sind alsdann die Verbrennungen, welche durch Contact mit Körpern von sehr hoher Temperatur, sowohl festen als flüssigen und gasförmigen (Flammen), hervorgerufen werden, wobei jedoch auch die Wärmestrahlung mitbe-

---

1) SCHWIMMER, Ziemssen's Handbuch der spec. Pathol. Bd. 14. I. S. 308.

2) VEIEL, Ebenda. S. 342.

theiligt ist. Wie bei den Erfrierungen unterscheidet man auch bei den Verbrennungen verschiedene Grade, meist drei, deren erster durch Röthung und Schmerzhaftigkeit der betroffenen Hautstelle charakterisirt ist, während der zweite zu Blasenbildung und der dritte zu Schorfbildung führen. Auch bezüglich der Verbrennungen muss auf die Lehrbücher der Pathologie und Chirurgie verwiesen werden.

Unter den indirecten Einflüssen der Temperatur kommen zunächst diejenigen auf die niederen Organismen in Betracht. Schimmelpilze, Sprosspilze, Spaltpilze wachsen nur innerhalb bestimmter Temperaturgrenzen; werden diese überschritten, so tritt Stillstand der Lebenserscheinungen ein und es kommt unter Umständen zu Sporenbildung oder zu vollem Absterben des Pilzes.

Die Temperaturgrenzen, innerhalb welcher die verschiedenen Pilze noch zu gedeihen vermögen, sind für die verschiedenen Arten ausserordentlich verschieden. Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass Temperaturen in der Nähe der menschlichen Körpertemperatur die günstigsten sind für das Wachsthum und die specifische Thätigkeit der meisten niederen Pilze. Ausnahmen hiervon machen nur einige Schimmelpilze, wie *Penicillium glaucum*, welches bei 22—26° sein Optimum hat, bei Körpertemperatur jedoch nicht mehr wächst; ferner *Aspergillus glaucus*, welcher bei 10—15° gut gedeiht, bei 25° verschwindet; *Oidium lactis* wächst ebenfalls am besten bei 15—20°. Verminderung der Temperatur schwächt die Energie der Lebenserscheinungen, bis endlich eine weitere Entwicklung nicht mehr möglich ist. Diese Grenze liegt nun sehr verschieden tief; Schimmelpilze, Sprosspilze und viele Spaltpilze wachsen noch, wenn auch nur spärlich, bei wenigen Graden über Null. *Bacterium termo* beginnt bei 5½° zu wachsen; *Bacterium* der Milchsäuregährung (LÖFFLER) bedarf einer Temperatur über 10°, der *Commabacillus* (KOCH) über 16°, der *Diphtheriebacillus* (LÖFFLER) über 20° u. s. f.

Mit dem durch diese Grenze erreichten Stillstande der Entwicklung ist jedoch noch nicht der Tod der Pilzzelle erreicht; dieselbe tritt nur in dem Zustand latenten Lebens ein und ist bei Einwirkung günstigerer Temperaturverhältnisse im Stande sich wieder zu erholen. Im Zustande der Latenz werden noch tiefere Temperaturen, unter Umständen unter 0°, ertragen, ohne dass ein Absterben der Pilze oder ihrer Sporen erfolgte. Desinfection durch Kälte erweist sich daher unmöglich.

Ebenso verschieden wie die untere Temperaturgrenze liegt auch die obere für die verschiedenen Pilze. Während manche Schimmelpilze (*Penicillium glaucum*, *Aspergillus glaucus*) schon bei Körpertempe-

ratur nicht mehr wachsen, gehen die meisten sporenfreien Spaltpilze schon bei mehrstündiger Einwirkung einer Temperatur von 50—70° C. zu Grunde; Schimmelsporen, und besonders Bakteriensporen, ertragen viel höhere Temperaturen; man weiss, dass heisse Luft von 115° Aspergillussporen erst bei 1½stündiger Einwirkung tödtet, ferner dass Bacillensporen erst durch 3stündigen Aufenthalt in 140° heisser (trockner) Luft getödtet werden. Dagegen wirkt Wasserdampf von 100° C. pilztödtend und zerstört bei kurzer Einwirkung schon die resistenteren Bacillensporen (KOCH)<sup>1)</sup>. (Vergl. auch FLÜGGE, Die Fermente und Mikroorganismen. Dieses Handbuch. I. Theil. 2. Abth.)

Mittlere Temperaturen begünstigen somit alle durch niedere Organismen eingeleiteten und unterhaltenen Processe der Verwesung, Gährung und Fäulniss; niedere Temperaturen in der Nähe des Gefrierpunktes unterbrechen dieselben bis zum Wiedereintritt höherer Temperaturgrade; hohe Wärmegrade, die höchsten, welche ohne Zuthun des Menschen zu Stande kommen, erweisen sich höchstens einigen wenigen Zersetzungs Vorgängen feindlich; die grosse Mehrzahl derselben besteht unbehindert fort, sofern nicht unter dem Einflusse der hohen Wärme Austrocknung erfolgt und damit eines der wesentlichsten Substrate des Lebens jener niederen Organismen, das Wasser, entzogen wird. Auf diesem Wege werden in der Natur häufig genug durch den Eintritt warmen Wetters, bei gleichzeitiger Trockenheit, Zersetzungs Vorgänge gestört und unterbrochen, allerdings nur für die Dauer solcher Zustände der Luft.

Von besonderer Wichtigkeit sind in Folge davon die Temperaturverhältnisse in Bezug auf Infectionskrankheiten, deren Entstehung und zeitweiliges oder gänzliches Verschwinden. Da jedoch hierbei meist noch andere Einflüsse sich geltend machen, so kann darauf erst später bei Betrachtung der hygienischen Einflüsse von Witterung und Klima eingegangen werden.

Einen weiteren indirecten Einfluss der Temperatur auf den Menschen hat man in den durch Temperaturverschiedenheiten bedingten Luftbewegungen zu suchen. Sowohl die von der Sonne der Erde zukommenden Wärmemengen, als auch die auf der Erde vom Menschen künstlich hervorgebrachten, welche im Grunde nichts anderes sind als Sonnenwärme, verursachen Störungen im Gleichgewichte der Luft und damit Bewegungen derselben. Diese letzteren aber sind, wie weiter unten ausführlicher gezeigt werden soll (Luftbewegung), als Wind von directer Bedeutung für die Gesundheit, theils spielen

---

1) Mittheilungen aus dem k. Reichsgesundheitsamte. Bd. 1.

sie bei der Ventilation, der Kleidung und Wohnung eine Rolle mehr indirecter Art, indem sie die in jenen eingeschlossenen und durch den Aufenthalt des Menschen darin verdorbenen Luftmassen erneuern. (S. Kleidung, Wohnung, dieses Handbuch.)

### 8. Luftdruck.

Der Druck, welchen die Luft an der Meeresoberfläche auf den Körper eines erwachsenen Menschen ausübt, beträgt rund 17000 Kgrm., welcher Last der Mensch jedoch nicht bewusst wird, auch dann nicht, wenn er sich von der Erdoberfläche entfernt und sich somit unter geringeren Luftdruck begibt. In einer Höhe von 5000 Mt. beträgt unter sonst gleichen Verhältnissen dieser Druck noch 9082 Kgrm. (Barometerstand 406 Mm.) und bei 10000 Mt. Erhebung nur mehr 4852 Kgrm. (Barometerstand 216,9 Mm., S. 93). Bei höherem Luftdrucke, z. B. bei Taucherarbeiten, woselbst Drucke bis zu 7 Atmosphären vorkommen, ist selbstredend das Gewicht, welches auf der Körperoberfläche lastet, entsprechend vermehrt, es beträgt bei 7 Atmosphären 119000 Kgrm.

Die Schwankungen des Luftdruckes, welche an Ort und Stelle erfolgen, werden ohne Schaden ertragen; die Aenderungen in der Belastung des Körpers, welche durch sie hervorgerufen werden, sind zu gering, um einen Einfluss auszuüben; auch lässt sich eine Störung irgend welcher Art von so geringen Druckschwankungen von vornherein ausschliessen, nachdem viel bedeutendere Aenderungen, wie sie z. B. bei Besteigung mittlerer Berge vorkommen, ohne alle Störung ertragen werden. Erst von einer gewissen Grenze an wirken Steigerung oder Verminderung des Luftdruckes auf den Organismus in einer Weise ein, dass Aenderungen in der Function der Organe oder pathologische Erscheinungen, in letzter Linie der Tod eintreten.

#### *Erhöhung des Luftdruckes.*

Die Erscheinungen, welche durch eine beträchtliche Erhöhung des Luftdruckes hervorgerufen werden, werden ausschliesslich nur an Arbeitern in Taucherglocken und Caissons beobachtet, da ausser bei Anwendung dieser Apparate höherer Druck als 1 Atmosphäre nicht vorkommt; die relativ geringen Drucksteigerungen in pneumatischen Apparaten, welche, da sie therapeutischen Zwecken dienen, hier ignorirt werden können, abgerechnet. Mit Rücksicht auf die an anderer Stelle dieses Handbuches zu besprechenden Arbeitererkrankungen (vergl. HIRT II. Theil. Abth. 4. S. 83, woselbst auch die Lite-



ratur über den Gegenstand zu finden ist) kann es sich hier nur um einen gedrängten Ueberblick über die vorhandenen Erfahrungen handeln. Man theilt die hier interessirenden Erscheinungen in zwei Gruppen, deren eine die Symptome umfasst, welche durch die comprimirte Luft hervorgerufen werden, während in die andere die Erscheinungen beim Uebergange aus verdichteter in nichtverdichtete Luft gehören. Erstere anlangend wird zunächst die Athmung beeinflusst, die Zahl der Athemzüge sinkt, bei längerem Aufenthalte bis zu 4 pro Minute (VIVENOT); dabei nimmt die Tiefe der Respirationen zu und gleichzeitig die Athmungsgrösse. Das Blut wird stärker mit Sauerstoff gesättigt, der Puls wenig verlangsamt; die Blutvertheilung wird eine andere als unter normalem Drucke, die peripher gelegenen Organe werden ärmer an Blut, die entfernter gelegenen, Gehirn, Rückenmark, Leber, Milz, Darm, Niere, Uterus, Muskeln, werden reicher. Zu diesen Erscheinungen kommen directe Druckwirkungen hinzu, deren imponirendste die Einwölbung des Trommelfelles bei verschlossener Eustachischer Röhre ist; es entstehen dadurch Schmerzen im Ohre und Verminderung der Schärfe des Gehörs. Auch die Stimme wird verändert, tiefer, das Pfeifen unmöglich; Geruch, Geschmack und Gefühl verlieren an Schärfe; der Druck auf Muskeln und Nerven verursacht Unfähigkeit zu schwereren Arbeitsleistungen, so dass die Arbeiter oft nach einer relativ leichten Arbeit kraftlos zusammensinken.

Weit eingreifender sind die Erscheinungen, welche bei Rückkehr zum normalen Drucke auftreten. Wird dieser Uebergang zu schnell vorgenommen, so werden die in den Körperhöhlen enthaltenen Gase zu schnell ausgedehnt; es entstehen Affectionen des Gehörorganes, Otitis, Taubheit. Ferner können Blutungen entstehen, indem die Gefässe der Schleimhäute und äusseren Haut durch das in Folge der schnellen Entlastung zu rasch zurückkehrende Blut zerrissen werden. Blutungen aus den Ohren, Nase, Mund, Lunge, Magen, sowie unter die Haut werden nicht selten beobachtet; die schlimmste Erscheinung aber ist Ohnmacht und plötzlicher Tod in Folge der schon oben (S. 147) aufgeführten Entwicklung von Gasblasen innerhalb des Blutgefässsystems. Tritt auch nicht immer der Tod unmittelbar in Folge eines solchen Ereignisses ein, so folgen doch schwere Erkrankungen, Lähmungen der Beine, des Mastdarmes, der Blase vom Rückenmark aus nach.

Die hygienischen Maassnahmen zur Vermeidung der vorstehend geschilderten Unfälle bestehen hauptsächlich in richtiger Administration des Ueberganges vom dünneren zum dichteren Medium und in

erhöhtem Maasse bei der Rückkehr zum ersten. In zweiter Linie vermag ein richtiges Verhältniss der Arbeitsdauer zum Drucke die Gefahren der in Rede stehenden Beschäftigung wesentlich zu vermindern. Selbstredend sollten nur ganz gesunde Individuen zu Arbeiten unter hohem Drucke zugelassen werden, da bei Kranken die geschilderten Symptome früher und schwerer auftreten als bei völlig Gesunden. Nach Erfahrungen, welche bei Brückenbauten gemacht wurden, bietet die fortlaufende Controle des Körpergewichtes der Arbeiter eine Handhabe zur Ueberwachung der Gesundheitsverhältnisse derselben.

### *Verminderung des Luftdruckes.*

Der Einfluss geringeren Luftdruckes als jenes, unter welchem der Mensch zu leben pflegt, wurde schon zum grössten Theile in dem Abschnitte „Sauerstoff und Stickstoff“ (s. oben S. 146) dargelegt, indem, wie dort hervorgehoben wurde, dieser Einfluss sich wesentlich durch die Verminderung der Sauerstofftension geltend macht. In welcher Weise geringe Erhebungen den Organismus beeinflussen, zeigten die Versuche von MERMOD (S. 157), welche eine geringe Vermehrung der Pulsfrequenz ergaben. Diese Erscheinung, sowie eine Zunahme der Athemfrequenz treten deutlicher auf, wenn der Uebergang von höherem zu geringerem Drucke relativ schnell erfolgt, wie bei Ballonfahrten oder Bergtouren; doch besteht ein wesentlicher Unterschied, je nachdem gleichzeitig Arbeit geleistet wird (Bergtouren) oder nicht. Im letzteren Falle (Erhebung im Luftballon) treten die durch den verminderten Druck hervorgerufenen Erscheinungen reiner hervor; sie bestehen zunächst in Vermehrung von Puls und Respiration (Tab. LX und LXI S. 153 resp. 155) in Folge erschwelter Sauerstoffaufnahme ins Blut. Ernstere Erscheinungen treten je nach der Individualität früher oder später auf, doch kann man allgemein sagen, dass dies erst bei einem Drucke von 460 Mm., entsprechend einer Höhe von 4000 Mt. über Meeresniveau, beginnt.

Die durch den Sauerstoffmangel bedingten Erscheinungen der Athemnoth, Schwindel, Uebelkeit, Ohnmachtsgefühl, Unfähigkeit zu Bewegungen werden weiter complicirt durch directe Einwirkung des verminderten Druckes. Die Gefässe der Haut und Schleimhäute werden erweitert, und zerreißen unter Umständen, wodurch ähnlich wie beim Uebergange aus comprimierter Luft in Luft von normalem Drucke Blutungen aus Nase, Ohren, Mund und Lunge veranlasst werden. Perspiration und Schweissbildung werden erhöht. Das Trommelfell wölbt sich nach aussen. Der Tod tritt endlich ein in Folge von

Sauerstoffmangel<sup>1)</sup> oder in Folge Entstehens von Gasblasen im Gefässsystem, was namentlich bei schnellem Aufsteigen sehr leicht erfolgen kann.

Eine Grenze, bis zu welcher der Mensch sich von der Erdoberfläche zu erheben vermag, ohne sein Leben zu gefährden, lässt sich nicht fixiren, da CROCÉ-SPINELLI und SIVEL im Ballon bei einem Drucke von 260 Mm. schon starben, während GLAISIER eine Höhe von 11000 Mt. lebend erreichte, entsprechend einem Luftdrucke von 191,1 Mm.

Die bei Ballonfahrten, also bei relativ geringer Muskelanstrengung, zu beobachtenden Erscheinungen treten im verstärkten Maasse und schon bei geringeren Höhen auf, wenn dem Körper grosse Arbeitsleistungen auferlegt werden, bei Bergtouren; der hierbei beobachtete Symptomencomplex wird unter dem Namen der „Bergkrankheit“ (Puna) zusammengefasst und verdankt seine Entstehung einerseits der verminderten Sauerstoffaufnahme, andererseits dem gleichzeitigen, übermässigen Verbrauch an Muskelsubstanz.

Die Bergkrankheit tritt je nach den verschiedenen Gebirgen auch in verschiedenen Höhen auf<sup>2)</sup>. In den Alpen und Pyrenäen macht sich dieselbe erst über 3000 Mt. geltend, in Mexiko muss man sich bis 4500 Mt. hoch erheben, um die Erscheinungen der Bergkrankheit zu bekommen; und selbst auf dem Popocatepetl mit seinen 5420 Mt. sind dieselben nicht allzu schlimm. Einzelne Individuen leiden selbst bei grösseren Höhen noch nicht. Im Allgemeinen treten die Symptome um so höher auf, je höher in einer Gebirgskette die Schneeregion liegt.

Die erste Erscheinung der Bergkrankheit ist, nachdem schon Beschleunigung der Herzaction und Athemfrequenz in Folge der Anstrengung und verminderten Sauerstoffaufnahme eingetreten sind, hochgradige Ermüdung, nicht nur der Beine, welche den Körper nicht mehr zu tragen vermögen, sondern auch der übrigen Muskelgruppen; die leichtesten Arbeitsleistungen werden ungemein erschwert, es tritt Herzklopfen auf, Abneigung gegen Nahrung, Athemnoth, Uebelkeit, Schwindel, zunehmende Schwäche, Erbrechen und Diarrhoe; das Sensorium wird benommen, die Reisenden achten keine Gefahr, das Auge wird umflort; auch treten Hämorrhagien auf, und endlich schwindet das Bewusstsein. Uebertriebene Anstrengungen, nur der

1) PAUL BERT, La pression barométrique. Ausführliche Zusammenstellung aller vorliegenden Erfahrungen. p. 179–369.

2) PAUL BERT. Ibidem. p. 327.

Versuch, seine Begleiter zu überflügeln, hat schon manchmal plötzlich den Tod herbeigeführt.

Im Beginne der Krankheit vermag eine kurze Rast, Niedersitzen oder Niederlegen die lästigen Symptome sofort wieder zum Verschwinden zu bringen; wird die Reise jedoch fortgesetzt, so treten dieselben sehr schnell wieder auf; eine Erhebung um 50 Mt. in grösseren Höhen macht viel mehr Anstrengung erforderlich, als 500 Mt. bei Beginn der Reise.

Es wurde schon oben (S. 156) hervorgehoben, dass es eine Accommodation an den relativen Sauerstoffmangel der Luft hochgelegener Gegenden gibt und kann hier an die Erfahrungen, welche von den fremden Truppen in Mexiko gemacht wurden, erinnert werden. Sowohl die Respirationsorgane als auch die Herzthätigkeit gewöhnen sich an die durch den geringen Sauerstoffgehalt der Luft bedingten erhöhten Anforderungen an ihre Leistung und so ertragen die Bewohner von Hochplateaus Strapazen, welche eben eingewanderte Individuen aus tiefer gelegenen Gegenden nicht ohne Störung ihrer Gesundheit aushalten würden, ohne alle Belästigung.

Die Aenderungen des Luftdruckes an Ort und Stelle wurden oben (S. 200) als irrelevant für den Organismus erklärt, da eine directe Einwirkung dieses Factors weder erwiesen, noch auch wahrscheinlich ist. Dagegen kommt denselben eine hygienische Bedeutung insofern zu, als sie auf indirectem Wege einen gewissen Einfluss erlangen.

So spielen die Differenzen im Drucke eine hervorragende Rolle bei der Ventilation der Wohnungen; man kann sogar sagen, dass Ventilation eines geschlossenen Raumes nur durch die Hervorbringung von Druckunterschieden zwischen innen und aussen möglich wird, sei es nun, dass die Erwärmung der Luft, oder die Hemmung bewegter Luft (des Windes) oder die Bewegung von Luftmassen durch mechanische Vorrichtungen die Ursachen der Druckdifferenzen sind, immer sind diese Unterschiede der Dichtigkeit die nächsten Impulse zur Bewegung von Luftmassen. Auch das Eindringen der Bodenluft in die Wohnhäuser wird durch Druckdifferenzen veranlasst, welche zwischen der Luft im Innern der Häuser und der im Boden enthaltenen Luft bestehen und entweder durch die Erwärmung der Luft im Hause oder durch den Wind verursacht werden<sup>1)</sup>. Schon die einfachen Aenderungen im Luftdrucke, speciell dessen Absinken muss,

---

1) RENK, Tageblatt der Naturforscherversammlung in Salzburg.



wie VOGT postulirt<sup>1)</sup>, ein Austreten der Bodenluft zur Folge haben, ebenso wie man das Sinken des Barometerstandes als Ursache für eine erleichterte Ausströmung von Gasen aus Gesteinsspalten (schlagende Wetter) angesprochen hat<sup>2)</sup>. Allerdings lässt sich ein derartiger Einfluss nicht überall nachweisen<sup>3)</sup>, aber immerhin kann die Mitbetheiligung des sinkenden Luftdruckes an den erwähnten schlimmen Zufällen nicht bestritten werden.

### 9. Luftbewegung.

Bewegte Luft entzieht dem Körper mehr Wärme als ruhende Luft von gleicher Temperatur und macht sich so dem Gefühle bemerklich. Sowohl Leitung als auch Verdunstung werden gesteigert und erklärt es sich so, warum niedere Temperaturen, welche an und für sich schon bedeutende Wärmemengen entziehen, um so schlechter ertragen werden, je bewegter die Luft ist, während andererseits bewegte Luft hohe Temperaturen, welche die Entwärmung des Körpers erschweren, erträglicher macht. Bewegte Luft wird daher immer als kälter empfunden werden als ruhende Luft von gleicher Temperatur.

Bis zu einem gewissen Grade ist es möglich, aus dem durch die bewegte Luft erzeugten Kältegefühle auf die Geschwindigkeit der Luft zu schliessen. Ein geübter Beobachter vermag die einzelnen Grade der meteorologischen Windscalen nach seinem Gefühle ziemlich genau zu bestimmen; beruht ja auch deren Eintheilung auf der durch die bewegte Luft verursachten Empfindung (angenehmer, frischer, mässiger, starker Wind). Weitere Unterschiede aber, als sie jene Scala machen, können nicht mehr unterschieden werden, da die Gefühlsempfindung durch mancherlei anderweitige Factoren beeinflusst wird, und zwar liegen diese Factoren entweder in der Qualität der Luft oder in gewissen Körperzuständen.

Erstere anlangend macht es einen grossen Unterschied, ob bei gleicher Temperatur die Luft mit Feuchtigkeit beladen oder trocken ist; trockne Luft begünstigt die Verdunstung von der Hautoberfläche, entzieht daher mehr Wärme und wird immer einen grösseren Eindruck machen als feuchte Luft; was oben über die Feuchtigkeit in ihrem Zusammenwirken mit der Temperatur der Luft gesagt wurde

---

1) VOGT, Grundwasser und Bodenluft.

2) SERLO, Bergbaukunde. Bd. 2. S. 238.

3) FÖRSTER und HAUSSE, Beobachtungen über die Beschaffenheit und Bewegung der Grubenluft u. s. w. Jahrbuch für das Berg- u. Hüttenwesen im Königreich Sachsen. 1879. — SCHLOKOW, Gesundheitspflege und Statistik im preuss. Bergbau. 1881. S. 63.

(S. 189) gilt in noch höherem Maasse bei der bewegten Luft. Ueberdiess haben LANG und WOLFFHÜGEL <sup>1)</sup> nachgewiesen, dass man gegen einen durch Chlorcalcium getrockneten Luftstrom empfindlicher ist, als gegen einen feuchten von gleicher Temperatur und Stärke.

Zweitens ist die Temperatur der Luft von wesentlicher Bedeutung für die Grösse der Empfindung. Je grösser die Differenz zwischen der Temperatur des Hautorganes und der Temperatur des auftreffenden Luftstromes, um so empfindlicher muss dieser wirken (WOLFFHÜGEL und LANG [l. c.]).

Bezüglich der Körperzustände ist hervorzuheben, dass die Erwärmung des Körpers durch bewegte Luft *ceteris paribus* um so grösser ist, je feuchter die Hautoberfläche. Ein Luftstrom, welcher bei trockner Haut vielleicht als angenehm empfunden wird, macht sich als höchst lästig bemerklich, wenn die Haut mit Schweiss bedeckt ist, da er in diesem Falle zu viel Wärme auf einmal entzieht, und die Temperatur der Haut und damit des temperaturempfindenden Apparates zu sehr erniedrigt. Man weiss ferner, dass verschiedene Hautpartien verschieden empfindlich für thermische Reize sind <sup>2)</sup>; es schwanken z. B. nach NOTHNAGEL die kleinsten noch wahrnehmbaren Temperaturdifferenzen je nach der Körperstelle zwischen 0,2° an der Streck- und Beugeseite der Arme, und 1,2° auf dem Rücken; aber immerhin dürften diese Werthe für die Empfindlichkeit für Luftbewegung wesentlich modificirt werden durch die Art der Durchfeuchtung der Epidermis. LANG und WOLFFHÜGEL fanden den Handteller empfindlicher für Luftbewegung als den Handrücken (s. o.), obwohl aus den Versuchen NOTHNAGEL's die kleinste wahrnehmbare Temperaturdifferenz für die Hohlhand 0,4°—0,5°, für den Handrücken dagegen 0,3° beträgt. Es wird dieser Widerspruch sofort verständlich, wenn man die Zahlen der Schweissdrüsen in Betracht zieht, welche (nach KRAUSE [s. oben S. 164] für den Handteller 373, für den Handrücken nur 207) eine reichlichere Durchfeuchtung der Epidermis des Handtellers gegenüber der Aussenfläche der Hand wahrscheinlich machen.

Endlich ist auch noch die Grösse der von einem Luftstrome getroffenen Hautfläche von Einfluss. WOLFFHÜGEL und LANG fanden, dass bei einem Querschnitte eines künstlich erzeugten Luftstromes von 13,8 □ Cm. noch eine Geschwindigkeit der Luft von 0,16 Metern pro Secunde empfunden wurde, während bei einem solchen von circa

1) Ueber Lüftung und Heizung von Eisenbahnwagen. Zeitschr. f. Biologie. Bd. 12. S. 568.

2) HERING, Der Temperatursinn. Hermann's Handbuch der Physiologie. Bd. 3. Abth. II. S. 436.

30 □ Cm. Querschnitt die Grenze der Wahrnehmbarkeit bei 0,25 Mt. pro Secunde lag. Noch weiter sinkt dieselbe herab, wenn die ganze Hand von einem Luftstrome getroffen wird, und beträgt nach VON PETTENKOFE<sup>1)</sup>  $\frac{1}{2}$ —1 Mt. pro Secunde.

Die durch die bewegte Luft hervorgerufene Empfindung wird je nach ihrer Intensität und ihrem Einflusse auf das Allgemeingefühl als mässiger oder starker oder schneidender Wind bezeichnet. Als besondere Form bewegter Luft ist der „Zug“ zu betrachten, eine populäre Bezeichnung, für welche ebensowenig eine scharfe Definition gegeben werden kann als für die Erkältung (s. o.), als deren Ursache sie gewöhnlich angesehen wird. Man kann im Allgemeinen sagen, dass im gewöhnlichen Leben unter Zug jede Luftbewegung verstanden wird, welche ein unangenehmes Gefühl hervorruft. So bezeichnen verschiedene Menschen einen Luftstrom, dem sie alle gleichmässig ausgesetzt sind, die einen als angenehmes Lüftchen, die anderen, besonders wenn deren Haut mit Schweiss bedeckt ist, als Zug. Das Ausschlaggebende scheint meistentheils die Einseitigkeit der Abkühlung zu sein; und würde man somit nach v. PETTENKOFE<sup>2)</sup> unter dem Ausdrucke Zugluft eine bewegte Luft zu verstehen haben, welche nur an einer circumscribten Stelle auf den Körper auftritt und eine Wärmeentziehung veranlasst, die sich dem Gefühle unangenehm bemerklich macht. Es könnte nach dieser Auffassung auch der Wind bei Aufenthalt im Freien als Zug empfunden werden, wie dies im gewöhnlichen Leben so vielfach geschieht, soferne durch die Kleidung ein Theil der Körperoberfläche gegen dessen Wirkung geschützt ist, und nur an einer kleineren Hautpartie, welche unbekleidet ist, eine empfindliche Wärmeentziehung verursacht wird. Diese Auffassung wird wesentlich gestützt durch die Thatsache, dass auch der Vorgang der Entwärmung durch Strahlung nach einem kalten Körper hin als Zug bezeichnet wird, selbst wenn die umgebende Luft vollkommen ruhig ist, soferne die Entwärmung eine unangenehme Empfindung hervorruft (v. PETTENKOFE l. c.).

Ausser durch Entwärmung macht sich bewegte Luft auch durch den von ihr ausgeübten Druck bemerklich, wenn auch nicht in dem Maasse, wie durch erstere; wenigstens wird das Gefühl eines zu überwindenden Widerstandes erst bei grösseren Geschwindigkeiten empfunden. Ein Wind, welcher das Gehen im Freien behindert, wird als „starker“ oder „sehr starker“ Wind bezeichnet und besitzt nach

1) v. PETTENKOFE, Populäre Vorträge. Heft 1. S. 12.

2) v. PETTENKOFE, Ibidem. S. 72.

einer Tabelle von SMEATON <sup>1)</sup> eine Geschwindigkeit von mehr als 13 Mt. pro Secunde.

Ausser diesen directen Einflüssen der bewegten Luft hat die Hygiene sich mit mehrfachen indirecten Einwirkungen derselben zu befassen, welche theils in günstigem, theils in ungünstigem Sinne sich geltend machen. Es wurde schon im ersten Theile dieses Abschnittes darauf hingewiesen, dass es in erster Linie die Luftbewegungen sind, welche die Reinheit der atmosphärischen Luft erhalten; dieselben führen die von irgend einer Quelle ausgehenden Verunreinigungen der Luft hinweg und verdünnen dieselben durch Mischung mit reiner Luft sehr bald bis zum völligen Verschwinden. Ebenso ist deren Wirkung als eine günstige aufzufassen, soferne sie für manche Gegenden der Erdoberfläche den Charakter des Klimas bedingen. Länder, welchen wegen ihrer geographischen Lage ein kälteres rauheres Klima zukäme, erhalten bessere Witterungsverhältnisse durch die von warmen Meeresströmungen herrührenden Winde (England, Schweden und Norwegen). Aber auch da, wo sie keine wesentliche Aenderung des durch die Lage bedingten Klimas hervorrufen, sind sie von grösster Bedeutung für die jeweilige Witterung (Land- und Seewind), indem sie je nach ihrer Richtung über grosse Landstrecken wehend trockne, oder von grossen Wasserflächen kommend feuchte Luft, und damit schlechte Witterung (Niederschläge) mit sich bringen.

Windbewegung ist ferner neben Temperaturdifferenz der wichtigste Factor für den Vorgang der freiwilligen Ventilation der menschlichen Wohnungen, wird aber auch häufig mit mehr oder weniger Erfolg der künstlichen Ventilation dienstbar gemacht.

Endlich ist noch kurz des Einflusses der Winde auf die Verbreitungsweise mancher Krankheiten zu gedenken. Das bekannteste Beispiel hierfür bietet wohl die Malaria dar, von welcher man annimmt, dass sie in einzelnen Fällen durch Winde, welche über Sümpfe oder andere Malariaquellen wehten, verbreitet wurde, während in anderen Fällen behauptet wird, dass Hindernisse verschiedener Art, Terrainerhebungen, Hügel, Wälder, Mauern u. a., welche sich dem Winde in seiner Fortbewegung entgegenstellten, den dahinter gelegenen Oertlichkeiten Schutz gewährten <sup>2)</sup>. Jedenfalls kann diesen Vorgängen kein zu grosses Gewicht beigelegt werden, da zu viele Thatsachen in der Aetiologie jener Krankheit dagegen sprechen;

---

1) Fortschritte der Physik. Bd. 3. S. 583.

2) HIRSCH, Hist. geogr. Pathologie. Bd. 1. S. 207. 2. Aufl.



sicher aber ist die Entfernung, nach welcher hin das Malariaigift wirksam durch Winde verschleppt werden kann, als sehr gering (wenige Meter) anzuschlagen.

Auch bezüglich der Verbreitung der Cholera wurde die Windbewegung als wesentlicher Factor angesprochen, doch wurde der Vater dieser Idee (BRYDEN)<sup>1)</sup> bereits in Indien durch MURRAY, DE RENZY und Andere und in Deutschland durch v. PETTENKOFER<sup>2)</sup> und HIRSCH<sup>3)</sup> bekämpft und widerlegt. Ebenso wenig aber lässt sich für Gelbfieber und Typhus, bezüglich deren auch die Verbreitung durch den Wind stellenweise angenommen wurde, nachweisen, so wahrscheinlich es auch ist, dass diese Krankheiten resp. deren Infectionserreger in der Luft schweben und so in den Organismus gelangen können<sup>4)</sup>.

Dagegen scheinen gewisse Winde einen nicht abzuleugnenden Einfluss auf katarrhalische Erkrankungen, besonders der Luftwege, zu haben, wenigstens wird ein stärkeres Auftreten solcher Erkrankungen von vielen Pathologen häufig auf die Einwirkung solcher Winde zurückgeführt. Es dürfte sich aber in solchen Fällen weniger um eine directe Einwirkung der bewegten Luft, als vielmehr um eine solche seitens der durch den Wind herbeigeführten Luftmassen von extremer Qualität (niederer Temperatur, grösserer oder geringerer Feuchtigkeit, Staubgehalt) handeln; nach HIRSCH<sup>5)</sup> liegt der Schwerpunkt der Frage in dem Einflusse hoher Luftfeuchtigkeit, wofür eine Anzahl dort aufgeführter Thatsachen sprechen. Neuestens hat PORT<sup>6)</sup> die Aufmerksamkeit auf eine Coincidenz zwischen der Anzahl der Erkrankungen an Gelenkrheumatismus in der Münchner Garnison mit der Windgeschwindigkeit gelenkt, welche im statistischen Sanitätsberichte der bayrischen Armee für 1882—1884<sup>7)</sup> noch erweitert wurde. In letzterem Werke findet sich folgende Tabelle (s. S. 210).

Die Zahlen für die Windgeschwindigkeit sind Mittelzahlen aus den für jeden einzelnen Monat abgelesenen Umdrehungen eines grossen von PORT selbst construirten Anemometers, sie sind somit proportional

1) BRYDEN, On the epidemic cholera in the Bengal presidency. Calcutta 1869. p. 76.

2) v. PETTENKOFER, Die Verbreitungsart der Cholera in Indien. Braunschweig 1871. S. 16.

3) HIRSCH l. c. Bd. 1. S. 346.

4) Ebenda. S. 267 u. 474.

5) Ebenda l. c. Bd. 3. S. 7.

6) Epidemiologische Beobachtungen in der Garnison München. Archiv für Hygiene. Bd. 1. S. 106.

7) Herausgegeben von der Militär-Medicinalabtheilung im k. bayr. Kriegsministerium. München 1886. S. 56.

der mittleren monatlichen Windgeschwindigkeit und sind, um diese selbst zu finden, mit 16,5 zu multipliciren.

TABELLE LXXIII.

Jahrgang	Jahresdurchschnitte der Windstärke	Erkrankungen an Gelenkrheumatismus
1877/78	8664	106
1878/79	7121	94
1879/80	5751	92
1880/81	9671	133
1881/82	9415	141
1882/83	11380	132
1883/84	9581	136

Die aus dieser Tabelle hervorgehende Thatsache, dass während der ersten drei Jahrgänge mit geringer Windgeschwindigkeit die Morbidität an Gelenkrheumatismus gering war, dass im vierten Jahre beide Elemente beträchtlich anstiegen und in den letzten drei Jahren hoch blieben, ist interessant genug, zu einem eingehenden Studium dieser Frage anzuregen; denn vorerst ist noch nicht ganz erklärlich, wieso die mittlere monatliche Windgeschwindigkeit einen Einfluss haben sollte, wenn nicht ein Zusammenhang mit dem Detail, also mit dem Wechsel der täglichen oder monatlichen Windgeschwindigkeit ersichtlich gemacht werden kann.

### 10. Niederschläge.

Die atmosphärischen Niederschläge erhalten ihre hygienische Bedeutung vor Allem dadurch, dass sie dem Organismus Wärme entziehen. Regen und Schnee, welche die Kleidung durchnässen, thun dies indem sie einerseits Wärme ableiten, andererseits indem sie durch Verdunstung Wärme binden. Durchnässte Kleidung ist daher häufig genug die Ursache von Erkältungskrankheiten.

Eine grössere Wichtigkeit erlangen dieselben jedoch durch ihre indirecten Einwirkungen. In erster Linie ist hier zu erwähnen die luftreinigende Wirksamkeit derselben; es wurde im ersten Theile hervorgehoben, dass das Regenwasser niemals reines Wasser,  $H_2O$ , ist, sondern immer Gase, gelöste und feste Körper, enthält, welche ohne die Bildung der Niederschläge sich allmählich im Luftmeere anhäufen würden. Auch wurde daselbst die Thatsache erwähnt, dass Niederschläge überhaupt nur bei Anwesenheit fester Körper entstehen können und dass der allüberall vorhandene Luftstaub als Substrat derselben dient. Die atmosphärischen Niederschläge sind somit als

der wichtigste Factor zur Erhaltung der Reinheit der Atmosphäre zu betrachten.

In zweiter Linie erlangen dieselben eine nutzbringende Bedeutung dadurch, dass sie unter Umständen herrschende epidemische oder endemische Krankheiten in ihrer Weiterverbreitung hemmen oder gänzlich unterdrücken. Das bekannteste Beispiel hierfür ist der Effect der Regenzeit auf das Auftreten der Cholera in deren endemischem Gebiete in Indien <sup>1)</sup>.

JAMES BRYDEN <sup>2)</sup> hat mit Sicherheit nachgewiesen, dass für das endemische Gebiet in Indien die Regenwinde, Monsuns, die zeitliche Disposition bedingen, dass deren Auftreten die Krankheit zum Verschwinden bringt, während das Aufhören dieser nassen Jahreszeit dieselbe wiederum neu aufleben lässt. Man hat sich diese Erscheinung nach v. PETTENKOFER <sup>3)</sup> so zu erklären, dass die durch die grossen Regenmengen, welche die Monsuns mitbringen, verursachte Bodenfeuchtigkeit den Uebergang des Krankheitserregers aus dem Boden in die Luft aufhebt, welcher erst dann wieder möglich wird, wenn nachfolgende Trockenheit eingetreten ist.

Allerdings lässt sich an anderen Orten das gerade Gegentheil des eben erwähnten Verhältnisses zwischen Cholera und Regenfall constatiren; doch wird der scheinbare Widerspruch aufgehoben bei genauerer Betrachtung hierbei obwaltender Verhältnisse <sup>4)</sup> und stellte sich z. B. heraus, dass im epidemischen Gebiete der Cholera in Indien die Wirkung der Regen eine ganz andere sein muss als im endemischen Gebiete. Während hier der Boden im Allgemeinen sehr feinporig ist, das Grundwasser nahe an der Oberfläche liegt und die Regenmengen sehr reichlich sind, ist dort (in Lahore) der Boden sehr weitmaschig, das Grundwasser sehr tief und die Regenmenge gering. Die Bodenfeuchtigkeit wird daher im ersteren Falle viel bedeutender als im zweiten, und so erklärt es sich, warum die Regenzeit das eine Mal die Cholera zum Verschwinden bringt, das andere Mal erst aufblühen lässt.

So kommt es auch, dass an anderen Orten wieder ein anderes Verhältniss beobachtet wird; um ein Beispiel anzuführen, sei er-

1) v. PETTENKOFER, Verbreitungsart der Cholera in Indien. S. 20.

2) Epidemic Cholera in Bengal Presidency. Calcutta 1869.

3) v. PETTENKOFER, Die Cholera. Deutsche Bücherei. Heft 36.

4) LEWIS and CUNINGHAM, Cholera in relation to certain physical phenomena. 13<sup>th</sup> annual report of the sanitary commissioner with the government of India. Besprochen von F. RENK, Vierteljahrschrift für öffentl. Gesundheitspflege. Bd. 10. S. 656.

wähnt, dass in Madras der Eintritt der Regenzeit eine Zunahme der Cholerafrequenz bringt; der immer heftiger werdende Regen durchfeuchtet nun aber den Boden zu stark und vermindert die Cholerafrequenz; hört dann nach einiger Zeit der Regen wieder auf, so nimmt die Cholera wieder zu, um bei nachfolgender Austrocknung des Bodens wieder zu verschwinden.

Die Regen wirken somit, wenn sie ein gewisses Maass von Bodenfeuchtigkeit, das der Entwicklung der Krankheitserreger günstig ist, bedingen, erhöhend auf die Frequenz der Cholera ein; wird durch ihre Zunahme dieses Maass überschritten, so hört dieselbe auf, ebenso wie sie in Folge von Verminderung der Bodenfeuchtigkeit unter der Einwirkung regenloser Zeiten verschwindet.

Ebenso wie in Indien vermögen die Regen auch in Europa <sup>1)</sup> auf die Verbreitung von Choleraepidemien einzuwirken, allerdings nicht in dem ausgesprochenen Maasse wie dort, da hier die atmosphärischen Niederschläge gleichmässiger über das Jahr vertheilt sind, und die charakteristischen Regenzeiten und regenlosen Zeiten, wenigstens in der gemässigten Zone, fehlen.

Ganz das Gleiche, was für die Cholera erwähnt wurde, gilt auch für die Malariakrankheiten <sup>2)</sup>. Auch hier beobachtet man eine Gesetzmässigkeit insofern, als die atmosphärischen Niederschläge in trockenem Boden die Krankheit erst ins Leben rufen, dieselbe aber zum Verschwinden bringen, wenn sie einen übermässigen Grad von Bodenfeuchtigkeit erzeugen. Auch die Malaria tritt besonders heftig auf, wenn nach Regen anhaltende Trockenheit erfolgt.

Da auch bei der Verbreitung des Milzbrandes die Bodenfeuchtigkeit eine hervorragende Rolle spielt <sup>3)</sup>, so lässt sich behaupten, dass auch die dieselbe bedingenden Niederschläge einen Antheil an der Intensität und Extensität der Epizootien nehmen. Experimentelle Studien SOYKA's über den Einfluss des Bodens auf die Entwicklung von pathogenen Pilzen <sup>4)</sup> lassen ersehen, wie verschiedene Bodenfeuchtigkeit in ganz verschiedener Weise auf die Entwicklung und das Wachsthum der Milzbrandpilze, speciell die Sporenbildung einwirkt; doch ist an dieser Stelle nicht weiter darauf einzugehen. (Vergl. „Boden“ und „Volkskrankheiten“ in diesem Handbuche.)

1) v. PETTENKOFER, Deutsche Bücherei. Heft 36.

2) HIRSCH, Histor.-geograph. Pathologie. Aufl. 2. Bd. 1. S. 180.

3) BOLLINGER, Handbuch der spec. Pathologie u. Therapie, herausgeg. von ZIEMSEN. Bd. 3. S. 513.

4) Fortschritte der Medicin. Bd. 4. 1886. Nr. 9.



## 11. Staubgehalt der Luft.

Der in der Luft vorkommende Staub gelangt vorzüglich durch die Respirationsorgane zur Einwirkung auf den Menschen. Man darf sich jedoch nicht vorstellen, dass die ganze Menge Staubes, welche in einem Athemzuge in die Lunge gelangt, in diesem Organe zurückgehalten wird; neuere Versuche des Verfassers (nicht publicirt) haben gezeigt, dass die Luft fast ebenso reich an Staub aus den Lungen austritt, wie sie eingeathmet wird; auch die letzten Partien der Expirationsluft, welche TYNDALL <sup>1)</sup> als vollkommen frei von Staub bezeichnete, erwiesen sich der vervollkommeneten Methode gegenüber als staubhaltig. In einem Versuche, welcher derart angeordnet war, dass nur durch Watte filtrirte Luft in die Lungen gelangen konnte, zeigte sich die Expirationsluft vollkommen frei von Staub; es können daher die in der gewöhnlichen Expirationsluft nachzuweisenden festen Körperchen nicht von der Lungenoberfläche stammen, sondern müssen wohl in der inspirirten und wieder expirirten Luft schweben geblieben sein. Der Versuch, ein Luftvolumen, welches in einem Kolben von ca. 4 Litern Inhalt über Wasser abgesperrt war, durch Ein- und Wiederausathmen in die Flasche staubfrei zu machen, misslang vollständig, indem wegen Athemnoth der Versuch unterbrochen werden musste.

Ist nun damit auch erwiesen, dass nicht aller Staub der Luft in den Respirationsorganen zurückbleibt, so steht doch wenigstens fest, dass ein Theil desselben an den feuchten Wandungen der Schleimhäute hängen bleibt. Inspirirt man Luft, in welcher ein Büschel Sonnenstrahlen Massen von Sonnenstäubchen nachweist, so findet sich in der Expirationsluft nichts mehr von diesen, und nur die Methode der Sichtbarmachung des Staubes durch Umhüllung der Körperchen mit Wasserhüllen lässt den Reichthum der ausgeathmeten Luft an Staub erkennen. Man wird daher auch nicht fehl gehen, die differenten Stäubchen hauptsächlich unter den Sonnenstäubchen zu suchen und jene feinsten Staubarten von vornherein als indifferent zu bezeichnen.

Allerdings hat NÄGELI (s. oben S. 117) die Behauptung aufgestellt, dass zu den feinsten nicht mehr im Sonnenstrahle erkennbaren Körpern alle Spaltpilze gehören, gleichwohl dürfte von dieser Seite keine Gefahr zu erwarten sein, wie eine Prüfung der Methode von HESSE <sup>2)</sup>

1) TYNDALL, Essays on the floating matter of the air. London 1883. p. 37.

2) HESSE, Mittheilungen aus dem kais. Gesundheitsamte. Bd. 2. 1884. S. 186.

(Bei Drucklegung des ersten Theiles dieses Abschnittes noch nicht publicirt.)

gezeigt hat. HESSE fand, dass in den meisten Fällen beim langsamen Durchleiten von Luft durch 4 Cm. weite Glasröhren nur im Anfangstheile Pilze zu Boden sanken und sich Colonien derselben entwickelten. Untersucht man nun mittels optischer Methode eine solche Röhre während des Durchleitens der Luft, so zeigt sich gleichmässig in allen Theilen der Röhre der gleiche Staubgehalt. Da nun in den hinteren Theilen der Röhre und aus den am Ende befindlichen Wattepföpfen sich gewöhnlich keine Culturen mehr züchten lassen, so ist die doppelte Möglichkeit vorhanden, erstens dass Pilze gar nicht einzeln vorkommen in der Luft, sondern stets nur in kleinen Klümpchen, welche leicht zu Boden fallen, oder dass, wenn sie einzeln in der Luft schweben, sie so weit ausgetrocknet sind, dass sie ihre Entwicklungsfähigkeit eingebüsst haben. HESSE's Methode liefert somit den Nachweis, dass die feinsten, im Sonnenstrahle nicht mehr sichtbaren Stäubchen völlig indifferenter Natur sind. Es lässt sich überdies auch nicht an eine mechanisch reizende Wirkung dieser feinsten Stäubchen denken; sie sind fein genug, um durch das Flimmerepithel der Bronchien weiter befördert und aus dem Körper wieder entfernt zu werden.

In dieser Einrichtung besitzt der menschliche Körper ein äusserst wirksames Schutzmittel gegen die Einwirkung des Luftstaubes; die nach aussen beförderten Secrete der Schleimhäute erweisen sich bekanntlich immer erfüllt mit Körperchen der verschiedensten Art, welche nur aus der eingeathmeten Luft stammen können und unter Umständen sich schon makroskopisch durch Färbung der Sputa bemerklich machen. Allein nicht immer genügt die Thätigkeit des Flimmerepithels für sich allein, um allen Staub, welcher an den Wänden der Luftwege hängen blieb, zu entfernen; es werden alsdann krampfhaftige Bewegungen, Räuspern, Husten, Niessen, Schnäuzen, veranlasst, welche die Herausbeförderung der staubhaltigen Schleimmassen unterstützen. Reichen auch diese Hilfsmittel nicht mehr aus, so entstehen Störungen, welche je nach der Art des eingeathmeten Staubes verschieden charakterisirt sind.

Vom Standpunkte dieser ihrer Schädlichkeit aus unterscheidet man zweckmässig Staubarten, welche in Folge ihrer Form mechanisch reizend wirken, und solche, welche eine specifische Wirkung hervorrufen. In erstere Gruppe gehören sämtliche Staubarten, sofern sie nur in gewisser Menge eingeathmet werden. Jeder Staub, sei es Rauch, Strassenstaub oder Staub, welcher in bestimmten Gewerben seine Entstehung findet, wirkt, wenn er in erheblicher Menge der Luft beigemischt wird, reizend auf die Schleimhäute der Respirationsorgane und können dadurch Krankheitserscheinungen von leicht-

testem Katarrh bis zu schweren destructiven Processen eingeleitet werden, letztere wohl nur dann, wenn Menschen sich fortgesetzt schädlichen Einflüssen aussetzen (MERCKEL, Staubinhalationskrankheiten. Dieses Handbuch. Theil 2. Abth. 4). Es bestehen jedoch wesentliche Unterschiede zwischen den einzelnen Staubarten, bedingt durch die Form der einzelnen Partikelchen. Je schärfere Kanten und Spitzen dieselben besitzen, um so leichter werden sie eine Reizung oder sogar Verletzung der Schleimhäute verursachen.

Gruppirt man die verschiedenen staubentwickelnden Gewerbebetriebe nach ihrer Schädlichkeit, so deckt sich diese Eintheilung vollkommen mit der physikalischen Beschaffenheit der Staubpartikelchen <sup>1)</sup>).

Von einer Anzahl von Staubarten ist das Eindringen in das Lungengewebe und von da in die Lymphbahnen und nächstgelegenen Lymphdrüsen sicher erwiesen; man bezeichnet derartige Krankheitserscheinungen mit dem Namen Pneumonokoniosen (ZENKER) <sup>2)</sup>; ihre Entstehung ist nur bei lange fortgesetzter Einathmung grosser Mengen des betreffenden Staubes möglich. Hierher gehören die Krankheitsbilder der Anthracosis, bedingt durch Kohlenstaub sowohl von Steinkohlen als auch Holzkohlen, Russ und Graphit; die Siderosis, bedingt durch Eisenoxyd, Eisenoxyduloxyd, phosphorsaures Eisen und Gemische von Stahl und Sandsteinstaub bei Schleifern; ferner Chalicosis, die Folge der Einathmung von Steinstaub, Aluminosis, hervorgerufen durch Thonerdestaub und endlich die Einlagerungen von Tabakstaub und Baumwollensaub.

Andere Staubarten, welche keine derartigen spezifischen pathologischen Veränderungen setzen wie die eben beschriebenen, können Katarrhe, Emphysem, Pneumonien, Cirrhose und Phthise der Lungen hervorrufen, je nach ihrer Menge und Dauer der Einathmung und physikalischen Beschaffenheit der Partikelchen. (Vergl. MERCKEL, Dieses Handbuch. 2. Theil. 4. Abth.)

Grössere Bedeutung noch als den mechanisch die Respirationsorgane reizenden Staubarten, welche fast ausschliesslich nur in den betreffenden Gewerbebetrieben auf die Arbeiter einwirken, kommt den im Organismus eine spezifische Wirkung entfaltenden Staubarten zu, da in diese Gruppe ausser giftigen, hauptsächlich in der Industrie vorkommenden Staubarten auch die spezifische Krankheiten erzeugenden Keime niederer Organismen gehören.

---

1) HIRT, Die Krankheiten der Arbeiter. I. Theil. Die Staubinhalationskrankheiten. Leipzig 1871. 2) Deutsches Archiv f. klin. Medicin. Bd. 1. S. 116.

Es kommen jedoch bei dieser Kategorie von Stäubchen noch andere Eingangspforten in den Organismus als die Respirationsorgane in Betracht; in erster Linie der Verdauungstractus, in zweiter, wenn auch untergeordneter Linie Körperstellen, welche der natürlichen Bedeckungen der Epidermis oder des Epithels entbehren, Wunden.

Die giftigen Staubarten anlangend ist wohl die Mitwirkung des Verdauungskanales zum Zustandekommen der specifischen Krankheitserscheinungen nicht zu entbehren. In der sowohl den Verdauungs- als auch den Respirationsorganen gemeinsamen Mund- und Nasenhöhle werden schon aus der eingeathmeten Luft Staubpartikel zurückgehalten und gelangen durch Verschlucken der Secrete der betreffenden Schleimhäute in den Magen und Darm. Die Erscheinungen der giftigen Staubarten (Bleiweiss, Zinkstaub u. s. w.) ausgesetzten Arbeiter werden jedenfalls leichter durch die Aufnahme des Staubes in den Magen erklärt, als durch eine solche von der Oberfläche der Lunge, zumal die Möglichkeit letzterer Modalität zum mindesten nicht erwiesen ist<sup>1)</sup>.

Weniger klar als in den eben berührten Fällen liegen die Verhältnisse bezüglich der Bedeutung der in der Luft vorkommenden entwicklungsfähigen niedersten Organismen. Es wurde schon im I. Theile dieses Capitels constatirt, dass in der Luft an allen Orten, im Freien und in geschlossenen Räumen, entwicklungsfähige niedere Pilze vorhanden seien; die erste bei Erörterung der hygienischen Bedeutung dieser Stäubchen sich aufdrängende Frage ist wohl die, ob unter denselben auch die Erreger specifischer Krankheitserscheinungen zu suchen und zu finden seien; eine weitere Frage wird alsdann dahin gehen, ob die betreffenden Krankheiten, deren Keime in der Luft gefunden oder zum mindesten vermuthet werden, wirklich durch die Luft verbreitet werden, und ob diese Verbreitungsart die einzig mögliche ist, und drittens fragt es sich alsdann, wie man sich den Vorgang der Infection zu erklären habe.

Die erste Frage, ob man unter den Luftstäubchen auch die Erreger specifischer Krankheiten zu suchen habe, lässt sich im Allgemeinen mit ja beantworten. Die unleugbare Thatsache, dass alle festen Körper mechanisch zerkleinert werden und als Staub in die Luft gelangen können, lässt es als möglich, ja wahrscheinlich erscheinen, dass unter Umständen auch jene Infectionserreger vorhanden sein können, sofern sie nicht durch das Eintrocknen die Fähig-

---

1) HIRT, Die Krankheiten der Arbeiter. Abth. 3. Die gewerblichen Vergiftungen. Leipzig 1875.



keit ihrer Weiterentwicklung verloren haben, was durch die oben citirten Versuche des Verfassers für bestimmte Verhältnisse wahrscheinlich gemacht ist. (Auch für den Cholerainfektionsstoff nimmt KOCH<sup>1)</sup> eine zerstörende Wirkung der Austrocknung an.) Es dürfte daher nicht Wunder nehmen, wenn im Laufe der Zeit alle Infektionserreger in der Luft nachgewiesen würden. Dass dies bis jetzt noch nicht geschehen, liegt darin, dass die meisten derselben erst in allerneuester Zeit entdeckt und zunächst meist nur ihre pathogenen und biologischen Eigenschaften der Untersuchung unterstellt wurden, und so kann auf die Frage, welche pathogenen Pilze in der Luft schon gefunden wurden, nur mit ganz wenigen Beobachtungen geantwortet werden.

Es wurden bis heute nur nachgewiesen von LEMAIRE<sup>2)</sup> Sporen des Favuspilzes in der Luft, 50 Cm. entfernt vom Haupte eines an Favus leidenden Mannes; von TOMMASI-CRUDELI und KLEBS<sup>3)</sup> ein Pilz, welcher von beiden Forschern als der specifische Erreger der Malaria angesehen wurde. Auch v. SEHLEN<sup>4)</sup> hat in der Luft von Malariagegenden einen Pilz aufgefunden, welcher den von ihm im Blute Fieberkranker nachgewiesenen sehr ähnlich sieht, war aber vorsichtig genug, die Entscheidung, ob derselbe der wirkliche Malaria-pilz sei, weiteren Versuchen zu überlassen. In den letzten Tagen gelang es HARTMANN und EMMERICH in der Luft eines Secirsaales Erysipelkokken direct nachzuweisen (noch nicht publicirt).

Im Uebrigen muss es fortgesetzten Studien überlassen bleiben, den directen Nachweis für das Vorkommen pathogener Pilze in der Luft zu führen.

Für manche derselben ist jedoch bereits auf indirectem Wege das Vorkommen erwiesen oder zum mindesten wahrscheinlich gemacht. Die Wundinfektionskrankheiten, deren Erreger KOCH<sup>5)</sup> in seiner klassischen Abhandlung kennen gelehrt hat, finden sicherlich ihre Verbreitung durch die Luft; die eingehenden Studien LISTER's sowie die Methodik seiner antiseptischen Wundbehandlung beweisen dies zur Evidenz. Ebenso ist dies von den übrigen Infektionskrankheiten, incl. Cholera und Typhus, anzunehmen. Früher, als man die Infektionsstoffe sich noch als Gase denken konnte und dachte, lag

---

1) Conferenz zur Erörterung der Cholerafrage. (Zweites Jahr.) Berliner klin. Wochenschrift. 1885. Nr. 37 a u. b. S. 69.

2) Gazette medicale de Paris. 1864. p. 475.

3) Archiv f. experimentelle Pathologie. Bd. 11. 1879.

4) Fortschritte der Medicin. 1884. S. 585.

5) Koch, Die Wundinfektionskrankheiten.

es ja sehr nahe, ja man war sogar gezwungen auch anzunehmen, dass die Verbreitung durch die Luft erfolge und zwar ausschliesslich durch diese; man ging von dieser Ansicht auch noch nicht ab, als man schon an organisirte kleinste Lebewesen als Infectionserreger dachte, und v. PETTENKOFER <sup>1)</sup>, welcher schon im Jahre 1869 die parasitäre Natur des Krankheitserregers postulierte, hielt es damals und hält es noch für wahrscheinlich, dass derselbe mit der Luft in den Organismus gelange; er wurde darin nur noch mehr bestärkt, nachdem er gesehen, dass die bezüglich ihrer Weiterentwicklung auf den Boden angewiesenen Krankheiten auf keinem anderen Wege, auch nicht durch das dem Boden entstammende Trinkwasser, Verbreitung finden.

Auch NÄGELI <sup>2)</sup> vertritt die Anschauung, dass die niederen Pilze sich durch die Luft verbreiten und speciell die Miasmen immer durch die Luft uns zugeführt werden.

Allgemein lässt man die Möglichkeit der Uebertragung des Infectionsstoffes durch die Luft auch für die contagiösen Krankheiten gelten. So spricht sich OERTEL für die Uebertragbarkeit der Diphtherie durch die Luft aus <sup>3)</sup>, HIRSCH <sup>4)</sup> constatirt ein Gleiches für Variola, Scharlach <sup>5)</sup>, Malaria <sup>6)</sup>, Gelbfieber <sup>7)</sup>, Cholera <sup>8)</sup>, Typhoid <sup>9)</sup>, Erysipel <sup>10)</sup>, Puerperalfieber <sup>11)</sup>, vielleicht auch für Hospitalbrand. Kurz man kann sagen, es muss für alle Infectionskrankheiten die Möglichkeit der Uebertragung durch die Luft offen gelassen werden.

Eine andere Frage ist es jedoch, ob diese Uebertragung durch die Vermittlung der Luft der einzige Weg ist, welchen die Erreger der Infectionskrankheiten nehmen, oder ob er nur eine untergeordnete Rolle zu spielen vermag und die Verbreitung auf anderen Wegen eine grössere Rolle spielt.

In dieser Beziehung bestehen nun wesentliche Unterschiede unter den Infectionskrankheiten. So nimmt man allgemein an, dass die Aufnahme des Malariagiftes in den Organismus ausschliesslich durch

---

1) v. PETTENKOFER, Boden und Grundwasser in ihren Beziehungen zu Typhus und Cholera. Zeitschrift für Biologie. Bd. 5. S. 275.

2) NÄGELI, Die niederen Pilze. München 1877. S. 103.

3) Zur Aetiologie der Infectionskrankheiten. Vorträge gehalten im ärztl. Vereine zu München. 1881. S. 223, und OERTEL in v. ZIEMSEN'S Handbuch der spec. Pathologie. Bd. 2.

4) Historisch-geographische Pathologie. Bd. 1. S. 109.

5) Ebenda. S. 138.

6) Ebenda. S. 207.

7) Ebenda. S. 267.

8) Ebenda. S. 347.

9) Ebenda. S. 471.

10) Ebenda. Bd. 2. S. 288.

11) Ebenda. S. 326.

die eingeathmete Luft erfolgt; bei den contagiösen Krankheiten wird meist neben der Infection durch die Luft anderen Modalitäten, z. B. dem mechanischen Contacte oder der Einführung von Nahrungsmitteln, eine mehr oder minder wichtige Rolle zugeschrieben (Diphtherie, Blattern, Wundkrankheiten). Nur bezüglich Cholera und Typhus bestehen gewichtige Differenzen, welche hauptsächlich zwischen dem Vertreter der Bacteriologie, ROBERT KOCH, und dem Begründer der viel älteren Epidemiologie discutirt werden<sup>1)</sup>, und kurz dahin präcisirt werden können, dass letzterer auf Grund eines massenhaften Materials an Thatsachen über die Verbreitung jener beiden Krankheiten zu der Ansicht gelangt ist, dass der Vermittler zwischen dem infectirten Boden und dem Menschen die Luft sein müsse, nachdem das Trinkwasser einer genauen Untersuchung gegenüber nirgends Stand hielt, während ersterer an dem alten Standpunkt der Contagiosität und der Verbreitung des Giftes durch Excremente und Trinkwasser festhält. Ohne der eingehenden Erörterung dieser Fragen von anderer Seite vorgreifen zu wollen (Capitel „Volkskrankheiten“ dieses Handbuches), möchte Verfasser dieses die Ueberzeugung aussprechen, dass es den Forschern auf bacteriologischem Gebiete gelingen werde, bei weiterem Verfolge der Lebensthätigkeit und Lebensbedingungen der Krankheitserreger Thatsachen ans Licht zu fördern, welche es denselben ermöglichen, auch die sicher constatirten epidemiologischen Thatsachen zu erklären anstatt zu verlangen, dass der Epidemiologe seine Erfahrungen anders auslege zu Gunsten von Laboratoriumsexperimenten, welche nicht immer auf die Wirklichkeit übertragbar sind.

Es erübrigt noch die Frage über die Modalität des Eindringens von Infectionserregern in den Organismus. In dieser Beziehung wurde oben schon hervorgehoben, dass an Körperstellen, welche ihrer natürlichen Bedeckungen, entweder Epidermis oder Epithel, entbehren, niedere Spaltpilze leicht eindringen können. Die experimentelle Forschung hat sich diese Thatsache längst zu Nutzen gemacht, und der Forscher bringt Culturen von pathogenen oder nichtpathogenen Pilzen unter die Haut oder in absichtlich gemachte Wunden (Cornea), um die Wirkungsweise derselben zu studiren. Es kann daher keinem Zweifel unterliegen, dass in der Luft enthaltene Infectionserreger, indem sie auf Wunden oder Substanzverluste gerathen, von dort aus Krankheiten verursachen können.

---

1) Conferenz zur Erörterung der Cholerafrage. Erstes und zweites Jahr. Berliner klinische Wochenschrift. 1884 und 1885.

Schwieriger ist ein Entscheid zu treffen, ob vom Darm aus oder von der Lungenoberfläche aus — intacte Bedeckung derselben vorausgesetzt — eine Einwanderung erfolgen kann.

Diese Frage wurde von NÄGELI<sup>1)</sup> in klarer Weise folgendermaassen beantwortet: „Durch die unverletzte äussere oder innere Oberfläche des Körpers können die Spaltpilze im Allgemeinen nicht in die Substanz desselben eindringen, am wenigsten durch die äussere Haut, aber auch nicht durch die Schleimhäute, da die Widerstände, bis sie in die Blutcapillaren gelangen, zu gross und auch wohl die Ernährungsverhältnisse, die erst im Blute günstiger werden, zu unvortheilhaft erscheinen. Dass die Spaltpilze vom Speisekanal aus durch selbstständige Action eindringen, ist noch aus einem anderen Grunde undenkbar, weil sie nämlich im Magen und Darmkanale zuerst durch die freien Säuren, dann durch die Salze der Galle geschwächt und bewegungsunfähig gemacht werden. Dass sie vom Darme aus passiv, wie das Fett, aufgenommen werden, ist ebenfalls nicht anzunehmen, weil feste Stoffe auch in der feinsten Vertheilung nicht übergehen, und das Fett, nur wenn es flüssig ist und die Poren durch Galle wegsam gemacht sind, dies zu thun vermag. Wenn die Spaltpilze vom Darme aus, wo sie immer vorkommen und oft in Menge, aufgenommen würden, so müssten Blutvergiftungen sehr häufig sein. Nur in der Lunge vermögen wohl die Infectionspilze in die Blutcapillaren der Alveolen selbstständig einzudringen, indem ihre kräftige Resorption und lebhafte fortrückende und drehende Bewegung die dünne und weiche Wandung derselben überwindet.“

Dass von der Lunge aus Spaltpilze in den Organismus gelangen können, machten die Inhalationsversuche von TAPPEINER<sup>2)</sup> schon sehr wahrscheinlich, indem Tuberkulose entstand bei Thieren, welche zerstäubte Sputa von Phthisikern inhalirt hatten. Noch sicherer aber wurde die Thatsache erhärtet durch Versuche von H. BUCHNER<sup>3)</sup>, welcher Milzbrandsporen in Staubform inhaliren liess und zu dem Resultate gelangte, dass Stäubchen sehr leicht in die Athemwege von Mäusen eindringen, und Pilze, die in diesen Stäubchen enthalten sind, sehr rasch ins Blut übergehen. Liess BUCHNER pilzhaltigen Staub inhaliren, welcher rasch zu Boden fiel, also auch nicht leicht in die Alveolen der Lungen gelangte, so blieben die Thierchen gesund, wenngleich sie am Ende des Versuches oft

1) Die niederen Pilze. S. 117—123.

2) Virchow's Archiv. Bd. 74. Jahrg. 1878, und ebenda Bd. 82. Jahrg. 1880.

3) BUCHNER, Zur Aetiologie der Infectionskrankheiten. Vorträge, gehalten im ärztl. Vereine zu München. S. 293.



ganz dick mit Staub bedeckt waren und somit Gelegenheit zur Infection vom Darme aus (durch verschluckte Pilzmassen) oder von der Körperoberfläche aus gegeben war. BUCHNER kommt auf Grund seiner Versuche zu dem Ergebnisse, dass der Annahme der staubförmigen Beschaffenheit der Infectionsstoffe nicht nur nichts im Wege stehe, sondern dass diese Annahme sogar die allein zulässige sei und allen practischen Erwägungen zu Grunde gelegt werden müsse. Wesentlich gestützt wird diese Annahme noch durch die Thatsache, dass für nicht organisirte Körper das Eindringen in die Lungen und eine Ablagerung der eingedrungenen festen Körperchen (Pneumokoniosen s. oben) in den Lymphdrüsen sicher erwiesen ist, während bezüglich des Darmkanales nichts dergleichen bekannt ist; und wird es schon aus diesem Grunde unwahrscheinlich, dass vom Darmkanale aus die Infectionen erfolgen. Gleichwohl hat man sich in neuerer Zeit vielfach bemüht auch die Möglichkeit des Eindringens vom Darme aus darzuthun, und sind es besonders die neueren Untersuchungen von KOCH, NICATI und RIETSCH<sup>1)</sup> u. A., welche die Erzeugung der Cholera vom Darme aus zum Gegenstande hatten, aber insgesamt zum Resultate führten, dass im normalen Darmtractus die Kommabacillen zu Grunde gehen in Folge der Einwirkung der Magensäure und der Salze der Galle. Nur bei Unterbindung des Ductus choledochus oder bei Neutralisation der Magensäure durch Natron und gleichzeitige Aufhebung der Darmperistaltik durch Injection von Opiumtinctur in die Bauchhöhle ist es bis jetzt gelungen mit in den Magen injicirten Pilzculturen Erkrankungen zu erzeugen und so die Möglichkeit zu retten, dass eventuell auch durch das seitens der Bacteriologen wieder herbeigezogene Trinkwasser, dessen Bedeutung für die Verbreitung der Epidemien auf anderem Wege längst widerlegt worden war, Infectionen erfolgen könnten. Es muss natürlich alsdann angenommen werden, dass bei den an Cholera Erkrankten dem Ausbruche der Krankheit schon eine Störung im Darmtractus vorher ging, welche eine Neutralisation der Verdauungssäfte oder eine Alkalescenz derselben und verminderte Peristaltik zur Folge hatte. Ist nun auch die Möglichkeit eines solchen Vorkommnisses nicht absolut auszuschliessen, wie VIRCHOW in der citirten zweiten Choleraconferenz hervorhob (S. 19), so ist doch zum mindesten bedenklich bei dem geringen zu Gebote stehenden diesbezüglichen Erfahrungsmateriale, die im Laboratoriumsexperimente künstlich hervorgerufenen abnormen Verhältnisse auf die Vorkommnisse in der

---

1) Conferenz zur Erörterung der Cholerafrage. Zweites Jahr.

Wirklichkeit zu übertragen, nachdem durch die oben citirten Versuche BUCHNER's dargethan ist, dass Bakterien viel leichter von der Lunge als vom Darne aus ins Blut gelangen und Krankheit erzeugen können. Es muss daher weiteren Versuchen vorbehalten bleiben, zu beweisen, dass bei der Verbreitung der Choleraepidemien den Erkrankungen wirklich jene im Experimente erzeugte Veränderung der Erkrankung vorherging oder dass nur solche Menschen erkranken, welche an solchen aseptischen Zuständen leiden, wie sie bei Kaninchen von KOCH künstlich hervorgerufen wurden.

Bezüglich der Verbreitung pathogener Pilze durch die Luft ist noch die Frage zu erörtern, ob die von Kranken, z. B. Tuberkulösen, expirirte Luft im Stande ist die Krankheit weiter zu verbreiten, was natürlich nur dann der Fall sein kann, wenn diese Expirationsluft die specifischen Krankheitserreger enthält. Mit dieser Frage, welche früher mit Ja beantwortet wurde, hat sich GUNNING<sup>1)</sup> beschäftigt und ist zu dem Resultate gekommen, dass die Expirationsluft frei von Bakterien sei und weder von der Lungenoberfläche, noch von der Mundschleimhaut Pilze aufnehme. Ein gleiches Ergebniss hatten die Versuche des Verfassers, aus welchen hervorgeht, 1. dass bei Inspiration filtrirter Luft die Expirationsluft vollkommen frei von Stäubchen jeder Art ist, dass aber 2. beim Räuspern und Husten, manchmal auch beim Sprechen, kleine Tröpfchen in die Expirationsluft gelangen, welche von der Oberfläche der Athemorgane, speciell des Kehlkopfes losgerissen werden. Es ist somit die Möglichkeit nicht auszuschliessen, dass durch die Expirationsluft Kranker in Folge von Räuspern oder Husten pathogene Pilze weiter verbreitet werden können, während bei ruhigem Athmen eine solche Gefahr ausgeschlossen ist.

## 12. Witterung und Klima.

Entsprechend der im ersten Theile gemachten Unterscheidung zwischen Witterung und Klima wird es sich in diesem Capitel darum handeln, erstlich die hygienische Bedeutung verschiedener Witterungscharaktere zu erörtern; sodann die Aenderung der Witterung im Laufe eines Jahres, also den Einfluss der Jahreszeiten, und zuletzt die Verschiedenheit der Klimate je nach der Lage der menschlichen Wohnstätten auf der Erdoberfläche darzulegen.

Was zunächst den ersten Punkt anlangt, so wurde derselbe eigentlich schon in den vorausgehenden Capiteln insofern erledigt,

---

1) Klinisches Monatsblatt f. Augenheilkunde. 1882. Januarheft.

als in denselben die meteorologischen Elemente in ihrer hygienischen Bedeutung gewürdigt wurden. Die jeweilige Beschaffenheit des den Menschen umgebenden Luftmeeres ist gewöhnlich durch das Hervortreten irgend eines meteorologischen Factors, z. B. der Temperatur oder Luftbewegung, Feuchtigkeit u. s. w., besonders ausgezeichnet, und wird denn auch die Witterung, der Complex aller zugleich vorkommenden Zustände der meteorologischen Elemente, nach dem durch jenen besonders hervortretenden Factor auf das Gefühl hervorbrachten Eindrücke charakterisirt und mit einem mehr oder weniger bezeichnenden Namen belegt. Besonders sind es die Extreme in der Erscheinungsweise der Temperatur, Feuchtigkeit, Luftbewegung, welche der Witterung ihren Namen leihen, heisse, kalte, trockne, feuchte, neblige, regnerische, windige, stürmische Witterung, theils auch Combinationen solcher, wie z. B. bei nasskaltem oder bei schwülem Wetter; im ersteren Falle ist niedere Temperatur mit hoher relativer Feuchtigkeit eventuell auch Niederschlägen gepaart, im letzteren hohe Temperatur mit hohem Feuchtigkeitsgehalte der Luft, meist auch mit Windstille oder geringer Luftbewegung. Auch die vorhandene oder fehlende Bewölkung des Himmels und die daraus resultirende grössere oder geringere Menge Sonnenlicht, welche der Erde zukommt, dient als Characteristicum des Wetters, und spricht man von sonnigem, hellem, trübem, düsterem Wetter; doch können letztere Qualitäten auch bei fehlender Bewölkung durch Höhenrauch, Moorrauch und Rauch und Staub aus grossen Städten bei anhaltend ruhigem Wetter verursacht sein.

Dagegen bleibt der für die Aufeinanderfolge im Witterungswechsel so sehr maassgebende Luftdruck ausser Betracht für die Charakterisirung des Wetters, da seine Schwankungen dem menschlichen Gefühle entgehen.

Entsprechend dem eben Gesagten bestehen für die menschliche Gesundheit keine Gefahren seitens einer Witterung, welche durch das Fehlen extremer Zustände im Luftmeere charakterisirt ist; während die abnormen Aenderungen eines oder des anderen Factors die in den vorangehenden Capiteln geschilderten schlimmen Folgen für die Gesundheit nach sich ziehen werden. So hat man bei sehr heissem Wetter die Gefahren des Sonnenstiches, des Hitze- und Wärmeschlages zu befürchten, bei kaltem Wetter die localen oder allgemeinen Erfrierungen, bei kaltem oder nassem oder windigem Wetter die Erkältungskrankheiten, worauf jedoch hier nicht weiter einzugehen ist.

Der Wechsel der Witterung kann unter Umständen recht verhängnissvoll werden, besonders wenn derselbe sehr rasch erfolgt.

Grosse Schwankungen in der Temperatur geben zu Erkältungskrankheiten Anlass, wenn schnell ein Umschlag von heisser zu kalter Witterung erfolgt; plötzlich eintretende Regen können das Herrschen epidemischer Krankheiten plötzlich unterbrechen (Malaria, Cholera, Gelbfieber), auch das Eintreten gewisser Windrichtungen spielt in der Krankheitsätiologie eine gewisse Rolle insofern, als man wenigstens beobachtet hat, dass bei Nord- und Ostwinden Katarrhe sich verschlimmern <sup>1)</sup>, Aenderung (Verminderung) der Temperatur, welche durch das Umschlagen des Windes bedingt wird, sowie das Mitführen von Staub durch die über grosse Landflächen kommenden relativ trocknen Nord- und Ostwinde dürften als die nächsten Ursachen eines solchen Verhaltens angesehen werden.

Der regelmässige, sich langsam im Laufe eines Jahres vollziehende Wechsel der Witterung, mit anderen Worten der Wechsel der Jahreszeiten, erweist sich trotz der Fähigkeit des Menschen, sich gegen die Unbilden der Witterung zu schützen, von erheblichem Einflusse auf die Gesundheitsverhältnisse, der in dem gleichzeitigen Schwanken der Mortalitäts- und Morbiditätsverhältnisse zu zahlenmässigem Ausdrucke kommt. Was zunächst die Mortalität anlangt, so sagt man ganz allgemein, dieselbe sei grösser während der kalten Monate als während der warmen, bei näherer Betrachtung jedoch finden sich viele Ausnahmen hiervon.

Die Mortalität im deutschen Reiche für die Jahre von 1872—1875 wird z. B. durch folgende Zahlen beleuchtet, welche die Zahl der Todesfälle pro Tag angeben, wenn von einer durchschnittlichen Mortalität von 100 Fällen für jeden Tag des Jahres ausgegangen wird:

TABELLE LXXIV.

Mittlere monatliche Mortalität in Deutschland <sup>2)</sup>.

Monat	Zahl der Todesfälle pro Tag	Monat	Zahl der Todesfälle pro Tag
Januar . . . . .	105	Juli . . . . .	96
Februar . . . . .	111	August . . . . .	108
März . . . . .	112	September . . . . .	104
April . . . . .	104	October . . . . .	92
Mai . . . . .	98	November . . . . .	91
Juni . . . . .	91	December . . . . .	94

1) UHLE und WAGNER, Handbuch der allgem. Pathologie. S. 90.

2) BLOCK, Traité théorique et pratique de Statistique. Deutsch bearbeitet von H. v. SCHEEL. 1879. S. 269.



Demnach erreicht die Mortalität im deutschen Reiche zweimal im Jahre ein Maximum, März und August, und zwei Minima, Juni und November.

Aehnlich verhält sich die Mortalität in Italien, nur fällt hier das erste kleinere Maximum in den März, wie in Deutschland, das zweite grössere in den Juli, die beiden Minima je einen Monat früher als im deutschen Reiche <sup>1)</sup>.

Noch deutlicher tritt dieser Einfluss der Jahreszeit hervor, wenn man für eine grössere Reihe von Jahren berechnet, wie oft jeder einzelne Monat im Laufe dieser Zeit als Monat mit grösster Sterblichkeit und als Monat mit geringster Sterblichkeit im Jahre auftritt. Eine solche Berechnung für München und die Jahre 1851—1885 incl. ergibt Tabelle LXXV nach Aufzeichnungen des hygienischen Institutes in dieser Stadt.

TABELLE LXXV.

**Als Monate höchster resp. niederster Sterblichkeit wurden im Laufe von 35 Jahren beobachtet:**

Monat	Max.	Min.	Monat	Max.	Min.	Monat	Max.	Min.
Januar . . .	2 mal	3 mal	Mai . . . .	7 mal	—	September .	—	10 mal
Februar . .	—	1 =	Juni . . . .	2 =	2 mal	October . .	—	4 =
März . . . .	11 mal	—	Juli . . . .	1 =	2 =	November .	—	7 =
April . . . .	4 =	—	August . .	4 =	4 =	December .	4 mal	2 =

Es erscheinen somit in München die Frühlingsmonate März, April, Mai vorwiegend als Monate höchster Sterblichkeit, denen die Herbstmonate September, October, November als Monate geringster Sterblichkeit entgegenstehen, während die dazwischen gelegenen Monate bald als Monate höchster, bald als solche niederster Sterblichkeit auftreten. — Die mittlere Sterblichkeit für die oben aufgeführten 35 Jahre beträgt für jeden einzelnen Monat wie folgt:

TABELLE LXXVI.

**Mittlere monatliche Sterblichkeit für München, berechnet aus den Jahren 1851—1885.**

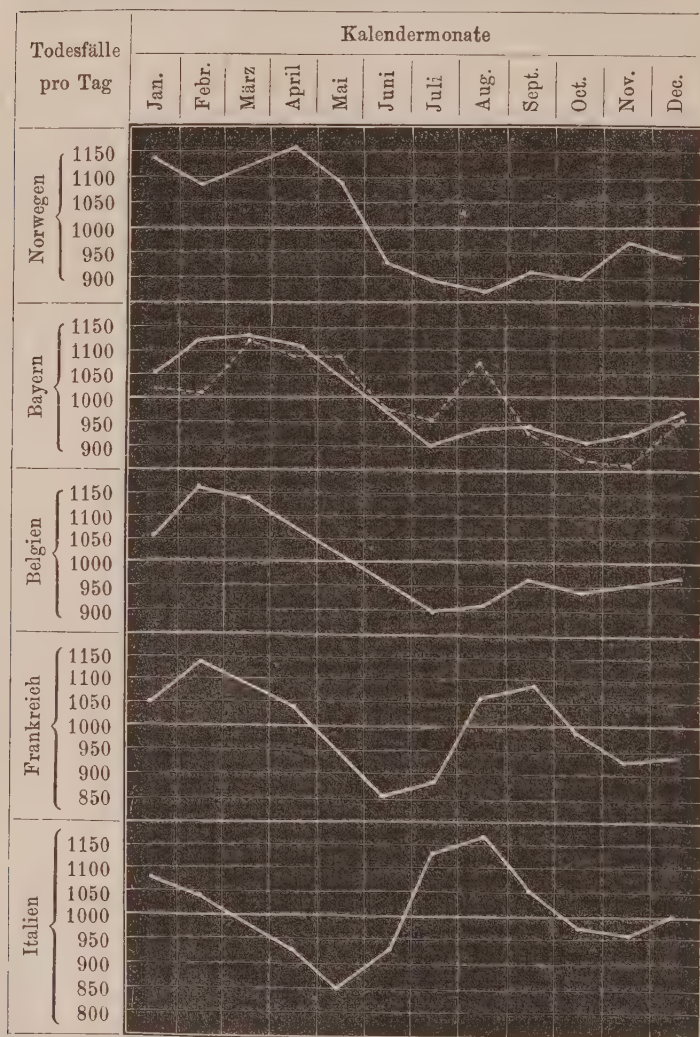
Monat	Todesfälle	Monat	Todesfälle	Monat	Todesfälle
Januar . . . .	507	Mai . . . . .	542	September . .	464
Februar . . .	500	Juni . . . . .	480	October . . . .	436
März . . . . .	559	Juli . . . . .	470	November . . .	429
April . . . . .	541	August . . . .	530	December . . .	474

1) HAUSHOFER, Lehr- und Handbuch der Statistik. S. 153.

Die mittlere Sterblichkeit pro Monat berechnet sich daraus zu 494 und liegen somit die ersten 5 Monate des Jahres, besonders aber März, April und Mai, über diesem Mittel, ebenso der August,

Fig. 26.

**Mortalität in verschiedenen Ländern nach Monaten.**



während die Sommermonate Juni und Juli und die letzten 4 Monate des Jahres unter dieses Mittel herabsinken.

Die Bewegung der Mortalität in München weist daher auch 2 Maxima und 2 Minima auf, wie die Bewegung der Mortalität in

Deutschland (Tabelle LXXIV S. 224). Eine graphische Darstellung derselben wurde in Fig. 26 als punktirte Linie eingezeichnet, nach Umrechnung der Zahlen obiger Tabelle auf eine mittlere Sterblichkeit von 1000 Fällen pro Tag.

Der überall hervortretende Einfluss der Jahreszeit auf die Mortalität wird durch mancherlei Einflüsse meist localer Natur wesentlich modificirt, jedoch nirgends zum Verschwinden gebracht. Einen deutlichen Beleg für die verschiedene Bedeutung der Jahreszeit liefert nebenstehende graphische Darstellung der Mortalität in Norwegen, Bayern, Frankreich, Belgien und Italien nach G. MAYR <sup>1)</sup>. Die aus derselben hervorgehenden Zahlen für die Sterblichkeit in den einzelnen Monaten wurden gefunden durch die Reduction der wirklichen Monatsmittel auf ein Jahresmittel von 1000 Fällen pro Monat (Fig. 26).

Gleiches geht auch aus folgender, dem grossen Werke von LOMBARD <sup>2)</sup> entnommenen Zusammenstellung hervor, in welcher je für

## TABELLE LXXVII.

## Vertheilung der Mortalität nach Jahreszeiten.

Land oder Stadt	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Dec. Jan. Febr. März	Juni Juli Aug. Sept.
Island . . . . .	20,24	19,38	33,31	27,07	26,62	42,56
Norwegen . . . .	27,00	28,79	21,88	22,33	36,53	29,26
Schweden . . . .	26,14	28,84	20,21	24,81	36,23	28,70
Dänemark . . . .	26,49	28,88	23,48	21,15	36,31	30,16
Holland . . . . .	27,53	25,65	23,37	23,45	36,69	31,57
Schottland . . . .	28,11	26,59	22,87	22,43	37,73	29,86
Belgien . . . . .	28,34	27,85	21,76	22,05	38,38	29,21
Frankreich . . . .	27,18	27,89	21,89	23,04	37,48	30,35
Spanien . . . . .	23,12	21,47	27,50	27,91	30,48	37,54
Italien . . . . .	26,13	22,91	25,69	25,27	34,45	30,24
Schweiz . . . . .	27,54	27,07	23,83	21,56	36,74	31,30
Ver. Staaten . . .	24,32	28,78	24,27	22,63	34,23	32,82
Amsterdam . . . .	27,60	25,99	22,44	23,97	37,07	30,39
Edinbourg . . . .	27,57	25,84	22,97	23,62	36,76	30,04
Paris . . . . .	26,82	28,95	21,96	22,27	36,59	29,46
Marseille . . . . .	25,19	22,53	28,69	23,59	32,73	37,07
Philadelphia . . . .	23,96	25,36	29,46	21,22	32,88	36,77
New-York . . . . .	23,88	23,72	28,93	23,47	32,18	37,85
Turin . . . . .	26,88	25,02	25,34	22,76	35,85	32,87
Genua . . . . .	24,77	21,90	26,18	27,15	32,85	39,15
Mailand . . . . .	28,82	25,98	26,72	18,48	37,67	34,16
Venedig . . . . .	29,09	24,17	24,35	22,39	38,02	31,37
Rom . . . . .	29,84	23,83	22,87	23,46	38,59	30,48
Neapel . . . . .	27,72	26,96	24,28	21,04	37,72	31,46

1) G. MAYR, Die Gesetzmässigkeit im Gesellschaftsleben. München, Oldenbourg. Die Naturkräfte. Bd. 23. 1877. S. 285.

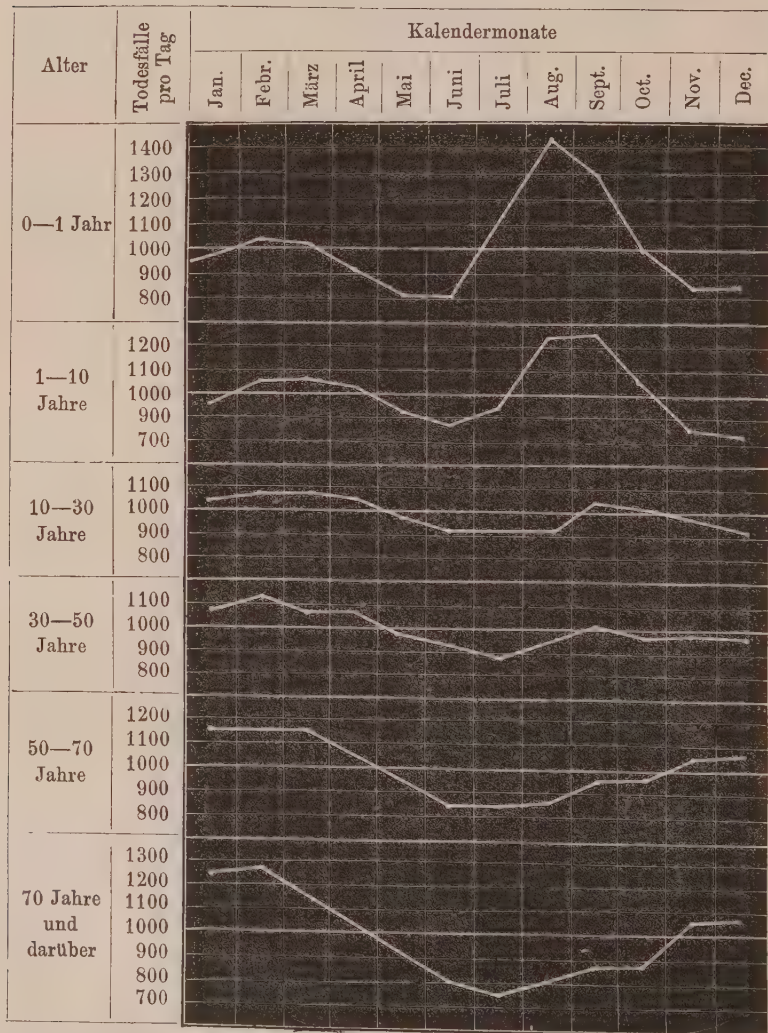
2) LOMBARD, Traité de Climatologie Médicale. Atlas. Paris, J. B. Baillière et fils. 1880. Tafel 4, 5, 6 und 7.



ein Land oder eine Stadt die Jahreszeiten angegeben sind, welche die grösste resp. geringste Mortalität aufweisen und welche in dritter Abtheilung das Verhalten der vier Wintermonate (December bis März)

Fig. 27.

### Sterblichkeit in Frankreich nach Alter und Jahreszeit.



gegenüber den vier warmen Monaten (Juni bis September) bezüglich des auf sie entfallenden Antheils der Mortalität aufweist.

Die aus den bisher angeführten Zahlen hervorgehende Regelmässigkeit in der Bewegung der Mortalität, sowie andererseits die



darin vorkommenden Schwankungen nach Ort und Zeit, sind das Resultat der Einwirkungen des Wechsels der Jahreszeit auf verschiedene Krankheiten; und zwar verhalten sich diese dem Witterungswechsel gegenüber durchaus nicht gleich. So weiss man z. B., dass die verschiedenen Altersgruppen unter gleichen klimatischen Verhältnissen wesentlich verschiedene Jahrescurven der Mortalität aufweisen. Vergleiche beistehende Darstellung (Fig. 27) nach G. MAYR (l. c. S. 289) für die Sterblichkeit nach Alter und Jahreszeit in Frankreich. Die der Darstellung zu Grunde liegenden Zahlen geben an, wie viele Fälle an jedem Tage eines Monats sich ereignen, wenn im Durchschnitt aus dem ganzen Jahre im Tage 1000 Personen sterben.

Während somit für die höheren Altersklassen die kälteren Monate sich gegenüber den wärmeren besonders verhängnissvoll erweisen, treten im jugendlichen Alter gerade die heissesten Monate besonders ungünstig auf. Zu beachten ist auch der Umstand, dass die Mortalitätscurven des mittleren Alters (10—30 und 30—50 Jahre) viel geringere Amplitude aufweisen, als die der Altersklassen in der Nähe der beiden Lebensenden; letztere sind den Einflüssen der Witterung viel zugänglicher als diese.

Besonders deutlich tritt der Einfluss der Jahreszeiten bei der Kindersterblichkeit hervor, so dass unter Umständen bei hoher Kindersterblichkeit die Curve der Gesamtmortalität wesentlich davon beherrscht wird. Es geht dies deutlich aus folgender Tabelle <sup>1)</sup> hervor, welche keiner weiteren Erläuterung bedarf.

TABELLE LXXVIII.

**Gesamststerblichkeit und Kindersterblichkeit in Berlin nach Monaten.**

Monat	Sterbeziffer pro 1000 Lebende und 1 Jahr	Von 100 Ge- storbenen standen im ersten Lebensjahre	Auf 100 Lebend- geborene im Jahre treffen Todesfälle
Januar . . . .	28,1	32,4	22,7
Februar . . . .	25,7	32,5	21,5
März . . . . .	27,9	32,9	23,2
April . . . . .	27,2	33,4	23,7
Mai . . . . .	28,4	36,6	26,8
Juni . . . . .	35,0	41,0	46,7
Juli . . . . .	41,7	54,7	55,4
August . . . .	36,2	50,4	47,0
September . . .	29,9	41,1	31,3
October . . . .	27,6	34,7	24,7
November . . .	25,4	28,3	20,0
December . . .	27,4	32,1	23,3

1) BAGINSKY, Die Verdauungskrankheiten der Kinder. Praktische Beiträge zur Kinderheilkunde. Heft 3.



die Steigerung der Lufttemperatur, jedoch erst von bestimmten Temperaturgraden an, wahrscheinlich, wenn das Temperaturmittel sich über 7° R. erhebt. Es ist unter Berücksichtigung aller Verhältnisse anzunehmen, dass die Erhöhung der Temperatur in den Sommermonaten die Entwicklung der Mikroorganismen aller Art begünstigt, die Nahrung besonders bei künstlicher Ernährungsweise eine schlechtere Beschaffenheit erlangt, und der Verdauungskanal der Tummelplatz der verschiedensten Arten von Mikroorganismen wird, welche störend auf denselben einwirken und so die hohe Morbidität und Mortalität an Darmkrankheiten und im Allgemeinen hervorrufen. (BAGINSKY l. c. und Andere, vergleiche die Lehr- und Handbücher der Kinderkrankheiten.)

Im Gegensatz zur Kindersterblichkeit trifft bei der Sterblichkeit des Greisenalters das Maximum auf die kalten, das Minimum auf die warmen Monate. Folgende Zusammenstellung ergibt den Procentantheil der einzelnen Jahreszeiten an der Sterblichkeit in Folge von Altersschwäche <sup>1)</sup>. Es starben

	im Winter	Frühling	Sommer	Herbst
in London . . . . .	30,3 ‰	22,7 ‰	21,3 ‰	25,7 ‰
im Canton Genf . . . . .	28,9 ‰	29,3 ‰	19,7 ‰	22,1 ‰
in Bayern . . . . .	29,1 ‰	28,9 ‰	20,6 ‰	21,4 ‰

Aehnlich, wie Kindersterblichkeit und die Sterblichkeit des Greisenalters zeigt auch die Mortalität an verschiedenen specifischen Krankheiten eine deutliche Abhängigkeit von der Jahreszeit. Kaum bei einer anderen Krankheit tritt diese Abhängigkeit von der Jahreszeit so deutlich hervor, wie bei der Cholera asiatica, für welche Thatsache folgende Tabelle (S. 232) zum Belege dienen kann, welche hauptsächlich aus v. PETTENKOFER's Werken zusammengestellt wurde, und ausser den Angaben über Choleramortalität für die vier gewählten indischen Orte auch noch die Vertheilung des Regens über das Jahr an diesen Orten enthält. Ueber den Zusammenhang zwischen Cholera und Regenmenge wurde schon oben (S. 211) das Nöthigste angeführt. In der gemässigten Zone, innerhalb welcher die Niederschläge gleichmässiger über das ganze Jahr vertheilt sind, macht sich mehr eine Abhängigkeit von der Temperatur geltend.

Temperatur und Feuchtigkeit des Bodens erweisen sich nach v. PETTENKOFER als ausschlaggebend für die Entwicklung des Infectionserregers der Cholera und erklärt sich so das verschiedene Ver-

---

1) OLDENDORFF, Eulenburg's Realencyclopädie der ges. Heilkunde. Artikel „Morbiditäts- und Mortalitätsstatistik“. Bd. 9. S. 303.

## TABELLE LXXX.

## Choleramortalität in der gemässigten Zone (Preussen und Russland) und in Indien.

Monat	Preussen: Cholera- todesfälle <sup>1)</sup>	Russland: Cholera- todesfälle <sup>2)</sup>	Calcutta		Madras		Bombay		Lahore	
			Cholera <sup>3)</sup>	Regen <sup>4)</sup>	Cholera <sup>3)</sup>	Regen <sup>4)</sup>	Cholera <sup>3)</sup>	Regen <sup>4)</sup>	Cholera <sup>3)</sup>	Regen <sup>4)</sup>
Januar . . .	2317	1784	275	0,21	194	0,89	235	0,03	0	0,4
Februar . .	842	848	359	0,42	191	0,22	213	0,01	1	1,2
März . . .	214	1315	566	1,13	123	0,48	263	0,01	1	0,6
April . . .	112	2237	745	2,40	64	0,68	295	0,02	3	0,5
Mai . . .	446	3937	513	4,29	65	2,26	294	0,41	31	0,7
Juni . . .	4392	27427	243	10,10	59	1,65	278	20,02	61	1,4
Juli . . .	8480	85587	153	13,90	164	3,46	162	22,69	64	6,1
August . .	33640	90986	132	14,40	191	4,38	93	13,10	160	4,8
September .	56561	19889	151	10,40	186	4,58	60	9,47	83	2,1
October . .	35271	7051	239	4,20	143	10,90	76	2,01	15	0,3
November .	17530	2732	320	0,90	93	12,90	95	0,27	2	0,1
December .	7254	763	317	0,13	104	5,42	163	0,09	1	0,6

halten der Cholera je nach der Jahreszeit und Oertlichkeit (zeitliche Disposition).

Ganz ähnlich wie die Cholera ist auch das Auftreten der Malaria von der Jahreszeit abhängig. Das Verhalten derselben unter verschiedenen Breiten kennzeichnet HIRSCH <sup>5)</sup> folgendermaassen: man findet 1. in Gegenden mit mässig entwickelter Malaria zwei Maxima im Frühling und Herbst, dazwischen zwei Minima; 2. in Gegenden mit stärker entwickelter Malaria ein Maximum, Sommer und Herbst umfassend, und ein Minimum im Winter und Frühling; 3. in den intensivsten Malariaherden der Tropen eine exquisite Abhängigkeit von der Regenzeit; die Fieber treten mit der Regenzeit auf, erreichen mit Nachlass derselben ihr Maximum und nehmen dann wieder ab.

Es würde zu weit führen, jede einzelne Krankheit in ihrer Abhängigkeit von der Jahreszeit eingehend zu besprechen; es möge genügen, an der Hand von HIRSCH's Handbuch der historisch-geographischen Pathologie eine Uebersicht über die wichtigsten diesbezüglichen Daten zu geben.

1) Nach BRAUSER, Statistische Mittheilungen über den Verlauf der Cholera-epidemien in Preussen. Berlin 1862.

2) Während der Jahre 1853, 1854 und 1855. HIRSCH l. c. Bd. 1. S. 325.

3) Mittlere Cholerafrequenz aus 26 Jahren nach MACPHERSON, Cholera in its home. 4) Englische Zoll.

5) HIRSCH, Historisch-geographische Pathologie. 2. Aufl. Bd. 1. S. 174.



Die Influenza<sup>1)</sup> zeigt eine gewisse Vorliebe für die kalte Jahreszeit insofern, als von 125 Epidemien 50 auf den Winter, 35 auf den Frühling, 16 auf den Sommer, 24 auf den Herbst fielen; man hat jedoch Epidemien sowohl bei strengster Winterkälte als auch bei höchster Sommerhitze beobachtet. Viel ausgesprochener dagegen hängt die Dengue<sup>2)</sup> von der Jahreszeit ab; ihre Hauptsaison sind die heissesten Monate, Juli und August; der Eintritt kalter Witterung bringt die Krankheit zum Verschwinden. Frühjahr und Sommer sind auch dem Herrschen des Schweissfriesels<sup>3)</sup> besonders günstig. Von 184 Epidemien fielen

63 auf das Frühjahr	} 146	9 auf den Herbst	} 38.
83 auf den Sommer		29 auf den Winter	

Auch die Blattern<sup>4)</sup>, eine rein contagiöse Krankheit, erweisen sich abhängig von der Jahreszeit. Von 99 Epidemien auf europäischem und nordamerikanischem Boden fiel die Acme

10 mal auf Herbst und Winter,
17 „ in den Winter,
16 „ in Winter und Frühling,
24 „ in den Frühling,
7 „ in den Frühling und Sommer,
14 „ in den Sommer,
6 „ in den Sommer und Herbst,
5 „ in den Herbst,

somit 67 mal in die kalte und 32 mal in die warme Jahreszeit.

Von 1000 Todesfällen an Blattern trafen in Bayern<sup>5)</sup> auf den

Winter . . . 299	} 731	Sommer . . . 176	} 269.
Frühling . . . 432		Herbst . . . 93	

Weniger ausgesprochen ist die Vertheilung des Scharlach<sup>6)</sup> über das Jahr; nur der Herbst ist gewöhnlich etwas stärker belastet; nächst ihm folgen Sommer und Winter.

Das Herrschen von Gelbfieber<sup>7)</sup> ist in erster Linie von der Temperatur, erst in zweiter von den atmosphärischen Niederschlägen abhängig; in den Tropen kommen daher Epidemien dieser Krankheit während des ganzen Jahres vor, besonders aber in der Zeit von April bis September. In höheren Breiten ausschliesslich nur während dieser Monate. Von 180 Gelbfieberepidemien der Vereinigten Staaten von Nordamerika herrschten:

1) HIRSCH l. c. S. 20.

2) Ebenda S. 50.

3) Ebenda S. 74.

4) Ebenda S. 106.

5) OLDENDORFF, Realencyclopädie. Bd. 9. S. 305.

6) HIRSCH l. c. S. 131.

7) Ebenda S. 246.

Januar . . . . .	0	Juli . . . . .	63
Februar . . . . .	0	August . . . . .	60
März . . . . .	0	September . . . . .	31
April . . . . .	0	October . . . . .	4
Mai . . . . .	3	November . . . . .	0
Juni . . . . .	19	December . . . . .	0.

Die typhösen Krankheiten anlangend sind exanthematischer Typhus<sup>1)</sup> und Rückfallfieber<sup>2)</sup> ganz unabhängig von jahreszeitlichen Einflüssen, wohl aber das Typhoid<sup>3)</sup>. In der überwiegend grossen Anzahl von Beobachtungsorten trifft das Maximum der Erkrankungen in den Spätsommer und Herbst (in München und Prag überwiegt der Winter gegenüber dem Herbst), das Minimum in das Frühjahr, in tropischen und subtropischen Gegenden bildet die heisse Jahreszeit die eigentliche Typhoidsaison.

Auch die Krankheiten der Respirationsorgane sind in hohem Maasse abhängig von der Jahreszeit. So sind alle Beobachter darüber einig, dass das Maximum der Frequenz der katarrhalischen Erkrankungen<sup>4)</sup> in die kältere, das Minimum in die wärmere Jahreszeit fällt; wie schon der Name sagt, verhält sich dies beim Sommerkatarrh oder Heufieber<sup>5)</sup> umgekehrt. Juni bis August sind, wenigstens in den höheren Breiten, die Monate für das Zustandekommen dieser Krankheit, und je höher die Temperatur, um so intensiver verläuft in der Regel der Anfall.

Bei Keuchhusten<sup>6)</sup> fällt das Maximum der Krankheitsfrequenz in den Sommer und Herbst, dagegen besteht weder bezüglich der Acme der Krankheit, noch bezüglich der Mortalität an derselben ein ausgesprochener Zusammenhang mit der Jahreszeit. Croup<sup>7)</sup> hinwiederum ist eine Krankheit der kälteren Jahreszeit; das Maximum der Krankheitsfrequenz fällt in die Monate October bis März und in die gleiche Periode entfallen ungefähr doppelt so viele Todesfälle als in die übrigen Monate. Ebenso verhält sich (mit vielen Ausnahmen allerdings) im Grossen und Ganzen die Diphtherie<sup>8)</sup>. Sehr ausgesprochen hinwiederum tritt der jahreszeitliche Einfluss bei der Pneumonie<sup>9)</sup> hervor; in Europa entfällt das Maximum der Krankheitsfrequenz auf die Frühlingsmonate März, April und Mai, in Amerika und Bombay mehr auf den Winter. Sommer und Herbst zeigen sowohl geringere Morbidität als auch Mortalität.

1) HIRSCH l. c. Bd. 1. S. 406.

2) Ebenda S. 426.

3) Ebenda S. 450.

4) Ebenda Bd. 3. S. 6.

5) Ebenda Bd. 3. S. 12.

6) Ebenda S. 22.

7) Ebenda S. 41.

8) Ebenda S. 67.

9) Ebenda S. 92.

Im Allgemeinen erweist sich die Lungenschwindsucht<sup>1)</sup> nach Morbidität und Mortalität unabhängig von der Jahreszeit; doch bestehen Ausnahmen, welche eine Abhängigkeit deutlich hervortreten lassen. So z. B. kommen in Bayern auf 1000 Todesfälle<sup>2)</sup>:

im Winter . . .	251	im Sommer . . .	229
„ Frühling . . .	321	„ Herbst . . .	199,

ebenso zeigt die Mortalitätscurve für München eine sehr ausgesprochene Spitze, welche in die Monate April und Mai trifft, während die Monate des letzten Quartals regelmässig Monate geringster Sterblichkeit sind.

Von den Erkrankungen der Verdauungsorgane treten bezüglich der Abhängigkeit von der Jahreszeit in erster Linie Ruhr und Darmkatarrh<sup>3)</sup> als an die warme Jahreszeit gebunden hervor. In den Tropen sind sie daher über das ganze Jahr verbreitet, in nördlichen Gegenden kommen sie fast nur im Spätsommer und Herbst vor. Von 705 Ruhrepidemien, die in der gemässigten und gemässigt kalten Zone vorkamen, traten auf:

im Sommer . . .	528	} 665	im Winter . . .	14	} 39.
„ Herbst . . .	137		„ Frühjahre . . .	25	

Gleiches gilt von der sporadischen Cholera<sup>4)</sup>. Des Brechdurchfalles der Kinder ist bereits oben Erwähnung geschehen. Von sonstigen Erkrankungen des Verdauungstractus zeigt nur noch die epidemische Parotitis<sup>5)</sup> einen Zusammenhang mit der Jahreszeit, insofern die Epidemien der grossen Mehrzahl nach, 129 von 150, i. e. 86 %, in die kältere Jahreszeit entfallen.

Die Epidemien der Meningitis cerebrospinalis<sup>6)</sup> herrschen fast immer im Winter und Frühjahr. Apoplexien<sup>7)</sup> kommen etwas häufiger im Winter vor, als während der übrigen Jahreszeiten. Auch der acute Gelenkrheumatismus<sup>8)</sup> tritt etwas häufiger im Winter und Frühjahr auf, als im Sommer und Herbst. Dass, und welche Abhängigkeit der Hitz- und Wärmeschlag<sup>9)</sup> von der Jahreszeit aufweist, bedarf keiner speciellen Erwähnung.

Dieser ausgesprochene Zusammenhang zwischen dem Wechsel der Jahreszeiten einerseits und der Bewegung von Mortalität und Morbidität gewisser Krankheiten erklärt sich auf verschiedene Weise;

1) HIRSCH l. c. Bd. 3. S. 135.

2) OLDENDORFF, Realencyclopädie. Bd. 9. S. 306.

3) HIRSCH l. c. Bd. 3. S. 224.

4) Ebenda S. 256.

5) Ebenda S. 193.

6) Ebenda S. 397.

7) Ebenda S. 377.

8) Ebenda S. 535.

9) Ebenda S. 436.

in manchen Fällen liegt ja die Sache sehr einfach, wie z. B. bei Hitzschlag, wo eine directe Einwirkung eines meteorologischen Elementes, der Wärme, auf den menschlichen Organismus vorliegt (s. oben S. 189). In anderen Fällen handelt es sich um die directe Einwirkung der Variationen eines meteorologischen einzelnen Elementes auf den specifischen Krankheitserreger, wie z. B. bei Sommerkatarrh oder Heufieber, bei Cholera nostras, oder auf die Lebensbedingungen desselben, z. B. bei den Erkrankungen der Verdauungsorgane, Ruhr, Dysenterie, Cholera infantum; wieder andere Fälle charakterisiren sich durch das Zusammenwirken zweier meteorologischer Elemente, z. B. Wärme und Feuchtigkeit auf den specifischen Krankheitspilz oder dessen Nährboden; hierher sind die exquisiten Bodenkrankheiten zu rechnen, Cholera asiatica, Malaria, Gelbfieber, Typhus abdominalis, welche nur bei einem bestimmten Grade von Bodenfeuchtigkeit und Bodentemperatur gedeihen. In den meisten Fällen aber ist der Einfluss der Jahreszeit ein äusserst complicirter, und kommt derselbe erst zu Stande auf Umwegen, indem z. B. die culturellen Verhältnisse der Menschen eine Aenderung erleiden, welche Aenderung alsdann wieder die Weiterverbreitung des krankmachenden Agens oder dessen Entwicklung begünstigen. So ist gewiss die Annahme zulässig, dass bei jenen Krankheiten, welche das Maximum ihrer Morbidität oder Mortalität in der kälteren Jahreszeit aufweisen, die durch die Jahreszeit bedingten schlechteren Wohnungsverhältnisse und das längere Verweilen der Menschen in mehr oder weniger ventilirten Räumen das wesentliche Moment für die Weiterverbreitung der Ansteckungsstoffe ausmachen. Croup, Diphtherie, Blattern sind solche an die kältere Jahreszeit gebundene Krankheiten, deren Erreger niedere Pilze sind; man weiss, dass niedere Temperaturen der Entwicklung der Mikroorganismen schädlich sind, und kann daher das Vorwiegen dieser Krankheiten im Winter unmöglich auf einen begünstigenden Einfluss der Kälte zurückführen. Bei den meisten Krankheiten aber, bei welchen ein jahreszeitlicher Einfluss sich bemerklich macht, ist es noch unklar, in welcher derselbe zu Stande kommt, indem das Zusammenwirken mehrerer meteorologischer Elemente theils auf den Krankheitserreger und auf dessen Substrate ausserhalb des Körpers, theils auf diesen selbst (individuelle Disposition) ein sehr complicirtes Bild darstellt, dessen Einzelheiten zu entwirren der weiteren Forschung vorbehalten bleiben muss.

In ähnlicher Weise wie der Wechsel der Witterung an Ort und Stelle ist auch der Wechsel des Klimas für den Menschen von Bedeutung. Zwar hat das Menschengeschlecht durch seine Ausdehnung



über den ganzen Erdball bewiesen, dass es in jedem Klima zu leben vermöge, allein es gehörte dazu jedenfalls ein relativ langsames Fortschreiten von Land zu Land und eine Acclimatisationsarbeit durch viele Generationen hindurch, welche mit zahlreichen Opfern an Gesundheit und Leben geleistet wurde.

Heutzutage bringen die modernen Verkehrsverhältnisse die Menschen schnell, d. h. in wenigen Tagen unter oft geradezu entgegengesetzte klimatische Verhältnisse, aus den Tropen nach dem hohen Norden und umgekehrt, aus dem Binnenlande nach der See. Hunderttausende von Menschen wandern alljährlich aus übevölkerten Ländern der alten Welt aus und vertauschen ihr gewohntes Klima oft mit einem völlig davon verschiedenen, und Tausende gehen aber dabei früher zu Grunde, als sie in ihrer Heimath gestorben wären, weil sie, wie man sagt, das Klima nicht ertragen.

Allein in diesem Falle ist das Wort Klima ein erweiterter Begriff; im ersten Theile dieses Capitels wurde unter Klima nur der ganze Complex der meteorologischen Erscheinungen an einem bestimmten Orte verstanden; hier aber, das heisst bei der Erörterung der Acclimatisation spielen ausser diesen Factoren noch eine Reihe anderer wichtiger Momente mit, in erster Linie der Boden als Brutstätte verheerender Krankheiten, die Naturproducte des Landes, die socialen und Erwerbsverhältnisse und die Race, welcher der Mensch angehört. Sieht man von allen diesen letzteren Factoren ab, und beschränkt sich nur auf die diesem Capitel zukommende Fragestellung nach der Bedeutung der verschiedenen Klimate im engeren Sinne des Wortes, so liegt die Sache wesentlich einfacher und bedarf es keiner anderen Eintheilung als der im ersten Theile des Capitels gegebenen. Es wurden daselbst zunächst drei wesentlich von einander verschiedene Klimate, das Tropenklima, das gemässigte und das polare Klima nach ihrer meteorologischen Beschaffenheit charakterisirt; das Hauptunterscheidungsmerkmal liegt in den Temperaturverhältnissen, welche dem Menschengeschlechte entschieden in der gemässigten Zone am günstigsten sind; die höchste Entwicklung der menschlichen Cultur entstammt den Ländern mit gemässigtem Klima. Wanderungen aus einer Zone in die andere haben Aenderungen in der Wärmeökonomie zur Folge, denen jedoch der Mensch sich leicht anzupassen vermag, soferne er im Stande ist, durch Aenderung seiner Kleidung und Ernährungsweise auf Wärmeproduction und Wärmeabfluss vom Körper einzuwirken. Es wurde wohl schon hervorgehoben (oben S. 191), dass das Nahrungsbedürfniss des Menschen in verschiedenen Klimaten nicht so bedeutend verschieden ist,

wie man früher glaubte und wie abenteuernde Reisende fabulirten, wohl aber vermag der Mensch durch entsprechende Auswahl unter den Nahrungsmitteln seinen Körper den jeweiligen klimatischen Verhältnissen mehr anzupassen; der Bewohner höherer Breiten geniesst bei gleicher Arbeitsleistung ebensoviel Nahrung wie der Südländer; dieser aber zieht eine stärkemehltreiche Nahrung, welche weniger Wärme liefert, der fettreichen aber mehr Wärme bildenden Kost des ersteren vor.

Weit ergiebiger aber als die Aenderung der Nahrungsweise ist in Bekämpfung ungewohnter Temperaturen der Wechsel der Kleidung und der Kleidung im weiteren Sinne des Wortes, der Wohnung. Mittelest dieser Schutzmittel gelingt es, wie die Nordpolexpeditionen gezeigt haben, auch die niedrigsten auf dem Erdballe vorkommenden Temperaturen auf die Dauer zu ertragen, aber auch in der Gluth der Tropenhitze ist eine rationelle Kleidung von grösster Wichtigkeit für die Erhaltung der Gesundheit.

Dass für das Ertragen sehr hoher und sehr niederer Temperaturen die Luftfeuchtigkeit eine hervorragende Rolle spielt, wurde oben schon betont. In einer Abhandlung von REINHARD <sup>1)</sup> finden sich eine grosse Anzahl von Belegen für diese Thatsache zusammengestellt, aus welcher hervorgeht, dass ein niedriger Gehalt der Luft an Wasser unter allen Umständen für den Körper besser sei als hohe relative Feuchtigkeit. Bei trockner Luft und hoher Temperatur vermag der Organismus immer noch durch Verdunstung von Wasser so viel Wärme abzugeben, dass er sich auf seiner Normaltemperatur erhält, auch wenn die Temperatur der Luft höher steigt als diese. Ganz unerträglich werden dagegen schon Temperaturen, welche viel tiefer liegen, wenn die Luft mit Wasserdampf gesättigt ist. So wird z. B. in Australien bei einer Temperatur von 32—38° C. im Schatten noch mit Enthusiasmus Criket gespielt, ermöglicht durch die geringe relative Feuchtigkeit der Luft, während zur Regenzeit am Senegal der Europäer schon bei einer Temperatur von 31° C. in Schweiss gebadet und unfähig zu jeder Bewegung mit bedeutendem Angstgefühle darniedersinkt <sup>2)</sup>.

Hohe Temperatur bei niederer relativer Feuchtigkeit kann jedoch auch durch die Verbindung mit starker Windbewegung wiederum unerträglich werden, wie ebenfalls BORIUS aus St. Louis am Senegal berichtet. Die Wasserentziehung wird während der trocknen Jahreszeit durch den im Verlauf des Vormittages aus Nordost, also von

1) Archiv für Hygiene von FORSTER, HOFMANN, PETTENKOFER. Bd. 3. S. 183.

2) BORIUS, Maladies du Sénégal. Paris 1882.

der Sahara her wehenden trocknen heissen Wind so sehr gesteigert, dass die Haut und Schleimhäute austrocknen und Risse bekommen, und der Körper zum Arbeiten untauglich wird. Hier bringt bei einer Temperatur von mehr als 40° C. eine Erhöhung der relativen Feuchtigkeit bei eintretender Seebrise erst eine Linderung, das Leben beginnt erst nach diesem Zeitpunkte zu erwachen.

Andererseits wird von Polarreisenden die Trockenheit der Luft gepriesen als wesentlich für das Ertragen der niederen Temperaturen, wie sie z. B. in Sibirien vorkommen, und zwar aus dem Grunde, weil nur vollkommen trockne Kleidung genügenden Schutz gegen Kälte bietet, bei gesättigter Luft aber das in den Kleidern sich condensirende hygroskopische Wasser nicht genügend verdunsten kann und alsdann durch Erhöhung der Wärmeleitung dem Körper zu viel Wärme entzogen wird. (MIDDENDORF, citirt bei REINHARD.) Somit erweist sich eine geringe relative Feuchtigkeit als nützlich, wenn es sich darum handelt, extrem niedere oder extrem hohe Temperaturen zu ertragen, Sättigung der Luft dagegen als schädlich.

Das Klima der gemässigten Zone wurde oben gemäss seiner Temperaturverhältnisse als das dem Menschen zuträglichste bezeichnet; vergleicht man damit die beiden anderen bisher besprochenen Klimate, so dürfte sich bei Berücksichtigung eben dieses Factors für den Bewohner mittlerer Breiten das Tropenklima als bedenklicher herausstellen als das polare. Die hohe Temperatur der Tropen weist dem Hautorgane eine erhöhte Thätigkeit zu; es müssen unter Umständen colossale Wassermassen aufgenommen und wieder abgegeben werden, und wird dadurch auch den Circulationsorganen eine höhere Aufgabe gestellt als im gemässigten und im kalten Klima. Unter der Erhöhung dieser Thätigkeiten aber erschlaft die Energie der übrigen Organe, besonders der Muskeln; die erschlaftende Wirkung der Hitze ist eine so allgemein bekannte Thatsache, dass es keines weiteren Hinweises darauf mehr bedarf.

Kälte dagegen wirkt anregend auf die Muskelthätigkeit, stärkt somit den Körper und erhöht die Esslust und damit die Fähigkeit, den Körper auf seinem Bestande zu erhalten. Die durch die Kälte gebotene Oekonomie der Wärme erlegt dem Hautorgane kaum eine Arbeit auf; der Mensch ist auch viel mehr im Stande durch künstliche Mittel, Kleidung und Wohnung, sich gegen Schädigung des Körpers durch zu grosse Wärmeverluste zu schützen, als er dies gegen den Einfluss der Hitze zu thun vermag; und dürfte daher der Uebergang aus einem gemässigten Klima in ein kälteres relativ ungefährlicher sein, als der in ein tropisches.



Entsprechend den Temperaturverhältnissen der verschiedenen Klimate ist auch das Auftreten vieler Krankheiten in den einzelnen Zonen ein verschiedenes. Krankheiten, welche an hohe Temperaturen gebunden sind, fehlen in den kalten Zonen gänzlich, Gelbfieber, Ruhr, Dysenterie, Dengue, eitrige Leberentzündung, Malaria werden gewöhnlich als exquisite Tropenkrankheiten bezeichnet, wenngleich es bei der Leberentzündung zweifelhaft ist, ob die hohe Temperatur damit zu thun hat<sup>1)</sup>, auch die Cholera ist als eine eigentliche Tropenkrankheit zu betrachten, insofern sie in Indien ihre Heimath hat. Elephantiasis und Beriberi werden fast nur in tropischen und subtropischen Gegenden beobachtet. Demgegenüber ist es nicht möglich, eine einzige Krankheit aufzuführen, welche den kalten Klimaten ausschliesslich eigenthümlich wäre.

Was den Unterschied zwischen See- und Landklima anlangt, so wurde derselbe in der grossen Rolle, welche das Wasser für Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse der Luft spielt, gefunden. Grössere Gleichmässigkeit der Witterung sowohl während des Tages als während des Jahres, höherer Feuchtigkeitsgehalt der Luft und der charakteristische Wechsel von Land- und Seewind sind die specifischen Merkmale des Seeklimas gegenüber dem Klima der Binnenländer. Diese Gleichmässigkeit in dem Ablaufe der meteorologischen Vorgänge scheint auch auf den Organismus beruhigend zu wirken; übereinstimmend wird es als solches bezeichnet<sup>2)</sup>, zugleich aber auch als roborirend, was sich wohl aus dem Fehlen übermässig anregender grosser Schwankungen in den meteorologischen Elementen und der gleichzeitigen beständig vorhandenen gelinden Anregung des Hautorganes durch die immer bewegte Luft und durch die bessere Wärmeleitungsfähigkeit der feuchten Luft erklärt, wodurch wiederum auf die Circulationsorgane und damit auf die Verdauungsorgane eine wohlthätige Rückwirkung ausgeübt wird.

Es bestehen jedoch je nach der geographischen Lage beträchtliche Unterschiede in den Klimaten der einzelnen Küsten und Inseln, welche bald mehr die sedative bald die roborirende Wirkung mehr hervortreten lassen, so dass die Handbücher der Klimatotherapie und Klimatologie Unterabtheilungen aufzustellen genöthigt sind. WEBER<sup>3)</sup>

1) PARKES, Manual of practical Hygiene. 5. Auflage, herausgegeben von DE CHAUMONT. London 1878. S. 436.

2) WEBER, Klimatotherapie in Ziemssen's Handbuch d. allgemeinen Therapie. Bd. 2. Theil 1. S. 68. — UHLE und WAGNER, Allgemeine Pathologie. 7. Aufl. S. 100.

3) WEBER l. c. S. 71.



unterscheidet in erster Linie feuchte, mittelfeuchte und trockene Insel- und Küstenklimate, und in diesen Abtheilungen wieder warme und kühle Unterabtheilungen. Da jedoch diese Specification wesentlich im Interesse der Klimatherapie gelegen ist, so braucht an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen zu werden. Hervorzuheben ist nur noch, dass es eine einzige Krankheit gibt, welche bisher nur an Meeresküsten beobachtet wurde, nämlich das Gelbfieber, welches eine ausgesprochene Abhängigkeit von Witterung und Jahreszeit erkennen lässt<sup>1)</sup>. Da diese Krankheit jedoch eine ausgesprochene Bodenkrankheit ist, so handelt es sich hier um eine indirecte Wirkung des Küstenklimas auf die Bodenbeschaffenheit und mittelbar dadurch auf den specifischen Erreger derselben und dessen Verbreitung.

Es erübrigt somit nur noch die Erwähnung des Höhenklimas bedingt durch die Lage eines Ortes oder Landes über dem Meeresspiegel und in physiologischer Beziehung wesentlich charakterisirt durch verminderten Luftdruck und geringere Temperatur, trockne Luft und dennoch reichliche Niederschläge und sehr bewegte Luft. Die Wirkungen des Höhenklimas sind daher auch wesentlich die des verminderten Luftdruckes: Vermehrung der Herz- und Athemfrequenz beim Uebergange aus den Niederungen in die Höhe und Kräftigung des Herzens und der Respirationsorgane bei dauerndem Aufenthalte (siehe oben Luftdruck); ferner vermehrte Wasserausscheidung durch Haut und Lunge, Erhöhung des Stoffwechsels und damit Kräftigung des Körpers. Selbstredend macht sich dieser Einfluss um so bedeutender bemerkbar, je grösser die Erhebung ist, und sehen sich daher die Aerzte, für welche das Höhenklima einen wichtigen Factor in der Therapie ausmacht, veranlasst, Abstufungen vorzunehmen, und spricht man z. B. von alpinem Klima, subalpinem Klima und Tiefebene- oder indifferentem Klima (WAGNER).

Wie schon oben erwähnt, gibt es eine Angewöhnung für den Bewohner der Tiefebene an die für ihn ungewohnten Einwirkungen des Höhenklimas, wobei die anfänglich sehr hervortretenden störenden physiologischen oder selbst pathologischen Erscheinungen sehr zurücktreten und nur geringe physiologische Veränderungen zurückbleiben, welche eben dem Organismus ermöglichen, trotz der Verdünnung der Luft seinen Sauerstoffbedarf dennoch daraus zu decken, es sind dies Ausdehnung des Thorax und Vermehrung der Thätigkeit der Athmungs- und Kreislaufsorgane.

1) HIRSCH l. c. Bd. 1. S. 253.

Was die Verbreitung von Krankheiten anlangt, so übt die Höhenlage wesentlich nur auf zwei einen deutlichen Einfluss aus, das ist das Gelbfieber und die Lungenschwindsucht. Es ist eine charakteristische Erscheinung in der Geschichte des Gelbfiebers, dass dasselbe nur in geringe Höhen sich erhebt, an manchen Küsten nicht höher als 200 Meter <sup>1)</sup>; es handelt sich hier aber offenbar mehr um Bodeneinflüsse als um klimatische, da, wie sich BRENDEL <sup>2)</sup> ausdrückt, Niveauunterschiede von wenigen Fuss die Grenze der Ansteckungsfähigkeit bedingen.

Dagegen dürfte die Abnahme der Häufigkeit der Lungenschwindsucht mit der Höhe hauptsächlich auf klimatische Einflüsse zurückzuführen sein, HIRSCH <sup>3)</sup> gelangt nach Ausschluss anderer in Betracht kommender Factoren zu der Ueberzeugung, dass die in hohen Elevationen geborene und aufgewachsene Bevölkerung in Folge des Athmens in verdünnter Luft fortdauernd zu häufigen tiefen (?) Inspirationen gezwungen ist, anhaltend eine Art Lungengymnastik treibt, und daraus eine kräftige Entwicklung der Athmungsorgane und eine gesteigerte Widerstandsfähigkeit derselben gegen äussere schädliche Einflüsse hervorgeht.

Es läge nun nahe, an dieser Stelle auf eine Erörterung der Frage der Aclimatisation einzugehen, wie es auch in manchen Handbüchern der Hygiene der Fall ist. Allein da, wie schon oben bemerkt wurde, hierfür nicht allein die klimatischen, sondern auch Bodenverhältnisse und das Verhalten gewisser Volkskrankheiten maassgebend sind, so muss diese Frage bei der Stellung des Capitels Luft im Handbuche einem dieser letzterwähnten Capitel zugewiesen werden.

---

1) HIRSCH l. c. Bd. 1. S. 253.

2) BRENDEL, Beobachtungen über Gelbfieber in Montevideo. Vierteljahrschrift für öffentl. Gesundheitspflege. Bd. 9. S. 224.

3) HIRSCH l. c. Bd. 3. S. 146.

# HANDBUCH DER HYGIENE.

I. THEIL.

2. ABTHEILUNG. 3. HEFT.

---

V. ZIEMSEN'S HANDBUCH  
DER  
SPECIELLEN PATHOLOGIE UND THERAPIE.  
ERSTER BAND.  
Dritte umgearbeitete Auflage.

---

HANDBUCH DER HYGIENE  
UND DER  
GEWERBEKRANKHEITEN

BEARBEITET VON

DR. A. BAER IN BERLIN, BAUR. L. DEGEN IN REGENSBURG, DR. R. EMMERICH IN MÜNCHEN, PROF.  
F. ERISMANN IN MOSKAU, PROF. C. FLÜGGE IN GÖTTINGEN, PROF. J. FORSTER IN AMSTERDAM,  
PROF. A. GEIGEL IN WÜRZBURG, PROF. A. HILGER IN ERLANGEN, PROF. L. HIRT IN BRESLAU, PROF.  
A. KUNKEL IN WÜRZBURG, DR. G. MERKEL IN NÜRNBERG, PROF. V. PETTENKOFER IN MÜNCHEN,  
DR. F. RENK IN MÜNCHEN, DR. A. SCHUSTER IN MÜNCHEN, PROF. J. SOYKA IN PRAG UND  
DR. G. WOLFFHÜGEL IN BERLIN.

HERAUSGEGEBEN

VON

Prof. Dr. M. v. PETTENKOFER und Prof. Dr. H. v. ZIEMSEN.

---

ERSTER THEIL.  
2. ABTHEILUNG. 3. HEFT.

Der Boden von Prof. Dr. J. Soyka.

LEIPZIG,  
VERLAG VON F. C. W. VOGEL.  
1887.



# HANDBUCH DER HYGIENE

UND DER

## GEWERBEKRANKHEITEN.

---

ERSTER THEIL.

### INDIVIDUELLE HYGIENE.

2. ABTHEILUNG. 3. HEFT.

---

## Der Boden

VON

**Dr. J. SOYKA,**  
a. ö. Prof. d. Hygiene a. d. deutschen Universität in Prag.

MIT 37 ABBILDUNGEN.

---

LEIPZIG,  
VERLAG VON F.C.W. VOGEL.  
1887.

Das Uebersetzungsrecht ist vorbehalten.

# INHALTSVERZEICHNISS.

	Seite
Einleitung . . . . .	3
ERSTER THEIL.	
<b>Die Bodenconstituenten und ihre Eigenschaften.</b>	
<i>Erstes Capitel.</i> Petrographische Classification der Bodenbestandtheile . .	7
I. Massengesteine . . . . .	10
II. Schichtgesteine . . . . .	11
A) Einfache, nichtklastische Schichtgesteine . . . . .	11
B) Zusammengesetzte, nichtklastische Schichtgesteine . . . . .	12
C) Klastische Schichtgesteine . . . . .	13
<i>Zweites Capitel.</i> Physikalische und chemische Veränderungen der Erdkruste	15
a) Die Verwitterung . . . . .	16
b) Veränderung durch die Lebensthätigkeit des Menschen . . . .	20
<i>Drittes Capitel.</i> Beziehungen der Bodenbestandtheile zur Luft und zum	
Wasser . . . . .	22
I. Porosität . . . . .	22
II. Permeabilität des Bodens für Luft . . . . .	36
A) Permeabilität des trockenen Bodens . . . . .	36
B) Permeabilität des feuchten Bodens . . . . .	45
C) Permeabilität des gefrorenen Bodens . . . . .	49
III. Luftbewegung im Boden . . . . .	51
IV. Bodenluft (Grundluft) . . . . .	67
V. Wassergehalt des Bodens . . . . .	76
VI. Wassercapacität des Bodens . . . . .	81
VII. Capillare Leitung des Wassers im Boden . . . . .	90
I. Aufwärtsbewegung des Wassers im Boden . . . . .	90
II. Die Leitung nach abwärts . . . . .	99
VIII. Durchlässigkeit des Bodens für Wasser . . . . .	103
IX. Boden und Wasserdampf . . . . .	113
1. Wassergehalt der Bodenluft . . . . .	113
2. Absorption und Condensation von Wasserdampf im Boden . .	114
3. Verdunstung aus dem Boden . . . . .	117
<i>Viertes Capitel.</i> Die Beziehungen des Bodens zur Wärme und die Tempe-	
raturverhältnisse des Bodens . . . . .	125
I. Ein- und Ausstrahlung der Wärme . . . . .	126
A) Erwärmung der Bodenoberfläche . . . . .	135
a) Tagesperiode der Temperatur der Bodenoberfläche . . .	142
b) Jahresperiode der Temperatur der Bodenoberfläche . . .	146

	Seite
B) Erwärmung der tieferen Bodenschichten . . . . .	149
a) Tagesperiode der Temperatur der tieferen Bodenschichten . . . . .	152
b) Jahresperiode der Temperatur der tieferen Bodenschichten . . . . .	154
c) Das Fortschreiten der Wärme gegen die Tiefe . . . . .	157
α) Fortschreiten der Schwankungen der Tagesperiode . . . . .	157
β) Fortschreiten der Schwankungen der Jahresperiode . . . . .	161
II. Innere Erdwärme . . . . .	166
III. Die durch physikalisch-chemische Vorgänge innerhalb des Bodens erzeugte Wärme . . . . .	167
<i>Fünftes Capitel.</i> Boden und organische Substanzen . . . . .	173
I. Das Eindringen von Verunreinigungen in den Boden . . . . .	174
II. Absorption der organischen Stoffe im Boden . . . . .	179
III. Die Umwandlungen der organischen Stoffe im Boden . . . . .	183
Selbstreinigung des Bodens . . . . .	183
<i>Sechstes Capitel.</i> Boden und niedere Organismen . . . . .	199
I. Das Vorkommen von niederen Organismen im Boden . . . . .	199
II. Das Eindringen der Organismen in den Boden . . . . .	213
III. Austritt der Organismen aus dem Boden . . . . .	217
IV. Einfluss des Bodens auf die Lebensthätigkeit und Entwicklung der niederen Organismen . . . . .	225

## ZWEITER THEIL.

### Die Erscheinungsformen des Bodens.

<i>Erstes Capitel.</i> Geologischer Aufbau des Bodens . . . . .	237
A) Geologische Classification der Erdkruste . . . . .	238
B) Lagerungsverhältnisse der Bodenbestandtheile . . . . .	243
<i>Zweites Capitel.</i> Vertheilung des Wassers im Boden . . . . .	247
I. Quellen . . . . .	250
II. Grundwasser . . . . .	251
1. Horizontale Ausbreitung des Grundwassers . . . . .	252
2. Die Bewegung des Grundwassers . . . . .	258
a) Strömungsrichtung des Grundwassers . . . . .	258
b) Die Intensität der Grundwasserströmung . . . . .	260
3. Mächtigkeit des Grundwasserstromes und Niveauabstand von der Oberfläche . . . . .	269
4. Herkunft des Grundwassers . . . . .	274
5. Unterirdische Zuflüsse von Grundwasser . . . . .	276
6. Beziehung des Grundwassers zu oberflächlichen Gerinnen . . . . .	280
7. Beziehungen des Grundwassers zu Flüssen . . . . .	282
8. Beziehungen des Grundwassers zum atmosphärischen Wasser (Niederschlag und Verdunstung) . . . . .	288
9. Besondere Formen der Wasseransammlung im Boden . . . . .	315
10. Zur Bedeutung der Grundwasserschwankungen . . . . .	317
<i>Drittes Capitel.</i> Zur Beurtheilung des Bodens . . . . .	320
Geologische Profile einiger Hauptstädte Europas . . . . .	326
1. Berlin . . . . .	327
2. München . . . . .	339
3. Paris . . . . .	339
4. Wien . . . . .	344



# BODEN

VON

**Dr. ISIDOR SOYKA**

a. ö. Professor der Hygiene an der deutschen Universität in Prag.



## EINLEITUNG.

---

Die wissenschaftliche Hygiene hat auch den Boden, auf dem der Mensch seine Wohnstätte errichtet hat, auf dem er lebt und arbeitet, in das Bereich ihrer Betrachtungen und experimentellen Untersuchungen gezogen, hat ihn in die Kategorie jener Factoren der Aussenwelt eingereiht, die in Wechselbeziehung zur Gesundheit des Menschen treten können. Es kann in dieser Thatsache der Ausdruck jener, nun zum Bewusstsein gelangten Zusammengehörigkeit und Solidarität aller organischen Wesen angesehen werden, welche der naturwissenschaftlichen Auffassung und Behandlung der Medicin in all ihren Disciplinen als Grundlage dient. Der Gegensatz zwischen Pflanzen und Thieren ist kein so mächtiger, so grundsätzlich durchgreifender, dass ein Factor, der in dem Leben der Pflanze eine so ausserordentlich wichtige Rolle spielt, für den thierischen Organismus ohne jede Bedeutung sein sollte, wenn sich dieser Einfluss vielleicht auch nur auf Umwegen manifestirt, etwa vermittelt durch andere Organismen, durch Pflanzen, die im Boden leben und wurzeln. Es hiesse aber das Gebiet der Hygiene zu weit ausdehnen, wollten wir alle jene Momente ins Auge fassen, durch welche der Mensch in, sagen wir, physiologischer Beziehung vom Boden beeinflusst wird. Die Configuration des Bodens, der Wasserreichthum, die Art seiner Bearbeitung, die Fruchtbarkeit desselben üben ebenso sicher Einwirkung auf die körperliche Entwicklung der Menschen aus, als sich dieser Einfluss in Lebensweise, Sitten, Gebräuchen, Volkscharakter u. s. w. ausspricht.

Während jedoch diese Fragen zum grossen Theil der Anthropologie oder Ethnographie überlassen bleiben, müssen wir vom hygienischen Gesichtspunkte aus im Boden jene Beziehungen zum Menschen ins Auge fassen, in denen eine Beeinflussung der Gesundheit gefunden werden kann, wo der Boden oder einzelne Bestandtheile desselben direct zu krankmachenden Potenzen werden können. Einflüsse dieser Art sind längst geahnt, längst behauptet worden; aber erst in neuerer Zeit hat die hierauf gerichtete Untersuchung ein greif-

bares, aber lange nicht vollständiges Substrat zu liefern begonnen, das Aufklärung zu geben verspricht, wie derartige Erscheinungen zu Stande kommen.

Es tritt jedoch im Vergleiche zu den anderen in diesem Handbuch behandelten, die Gesundheit beeinflussenden Factoren der Aussenwelt beim Boden eine gewisse Schwierigkeit in der Bearbeitung des Gegenstandes zu Tage. In dem Begriffe „Boden“, wie er für den Hygieniker zur Berücksichtigung und Untersuchung gelangt, vereinigt sich eine solche Summe von Bestandtheilen und Eigenschaften, dass das Resultat der Wechselbeziehungen zwischen ihm und dem Menschen zu einer sehr complicirten Function wird, in welcher für die einzelnen Factoren das Maass ihrer Bedeutung und ihrer Mitwirkung bisher nur selten mit der nöthigen Schärfe zu bestimmen ist. Schon die ungleichmässige Begrenzung des Begriffes führt uns diese Schwierigkeiten vor Augen. Haben wir ja unter „Boden“ im hygienischen Sinne einmal diejenige eng umschriebene, eng begrenzte Stätte aufzufassen, auf der der Mensch, resp. sein Wohnhaus, seine Arbeitsstätte sich befindet und die wir uns losgelöst denken müssen von der weiteren Umgebung; ein andermal dagegen einen umfassenderen Theil des Landes, wie er als eine Art geographisches Ganze uns entgegentritt in allen seinen Erscheinungen, in seiner Configuration, seiner Gliederung, seiner Schichtung, in seinen klimatischen Eigenthümlichkeiten und Veränderungen, seinen oro- und hydrographischen Verhältnissen, seinen Wechselbeziehungen zu benachbarten Gebieten, kurz in allen jenen Momenten, die auch der physikalischen Geographie zu Grunde liegen.

Die Schwierigkeit der hygienischen Würdigung dieses Factors resp. Factorencomplexes wird aber noch grösser, wenn, wie dies hier der Fall ist, die Bearbeitung sich auf das Gebiet der individuellen Hygiene zu beschränken hat. Der Einfluss, den der Boden auf die menschliche Gesundheit zu nehmen vermag, ist nur in geringem Maasse ein directer, ein unmittelbarer, in der Weise, dass seine Bestandtheile und seine Eigenschaften direct auf den menschlichen Organismus einwirken, direct zu Krankheitsursachen werden können. Eine solche unmittelbare Einwirkung kann z. B. auf die Wärmeregulirung des Menschen ausgeübt werden bei unmittelbarem Contact mit dem Boden; eine derartige directe Beziehung geben gewisse Gasausströmungen giftiger Natur (von Kohlensäure, Schwefelwasserstoff u. s. w.).

In der grösseren Anzahl der Fälle liegen die Verhältnisse jedoch so, dass der Boden in seinen verschiedenen Bedingungen erst das Substrat abgibt zur Entwicklung gewisser von Aussen in den



Boden eingeführter Schädlichkeiten, oder auch nur den Vermittler spielt, der uns derartige Schädlichkeiten auf verschiedenen Wegen zuführt, sei es direct oder aber wieder indirect, indem er sie erst an andere Bestandtheile der Aussenwelt, an die Luft, an das Wasser, an die Mauern unserer Wohnungen u. dgl. abgibt, die damit die schädlichen Eigenthümlichkeiten des Bodens auf uns übertragen.

Könnte es nun scheinen, dass der Boden im Allgemeinen, wenn er als gesundheitsschädliche Potenz auftritt, der Luft gegenüber dadurch eine geringere Gefährlichkeit besitzt, dass die Verbreitung des schädlichen Factors, welcher Natur er auch sei, bei der relativen Stabilität, der Unbeweglichkeit, die dem Boden inne wohnt, keine so rasche, keine so allgemeine werden kann, so haftet ihm doch wieder die bedenkliche Eigenthümlichkeit an, dass wegen dieser gewissen Trägheit ein längeres Haften der schädlichen Potenz möglich ist, als z. B. in der Luft, deren Beimischungen durch die grosse Beweglichkeit und den dadurch begünstigten Luftwechsel so leicht weggeführt oder so sehr verdünnt werden können.

Von der grösseren oder geringeren Continuität der Bodenelemente und dem Rapport, in dem sie zu einander stehen, wird es überhaupt abhängen, ob eine Schädlichkeit, die sich im Boden etablirt, sich leicht über eine grosse Gemeinschaft erstreckt. Hierzu wird freilich besonders dadurch Gelegenheit geboten, dass durch zwei in die Zusammensetzung des Bodens eintretende Elemente, Luft und Wasser, eine gewisse Verschiebbarkeit der Bestandtheile und dadurch eine grössere Verbreitbarkeit ermöglicht ist. —

Mit dem gelieferten Nachweis, dass der Boden die Eigenthümlichkeit besitzt, eine in sich aufgenommene oder ihm anhaftende Schädlichkeit auf grössere Strecken und Zeiträume zu verbreiten resp. zu bewahren und so z. B. für eine grössere Gemeinschaft von Menschen und wiederholt als Brutstätte von Krankheitskeimen zu dienen, wird aber der Boden bereits in jene Kategorie ätiologischer Momente gestellt, welche für die epidemische und endemische Entstehung und Ausbreitung von Infectionskrankheiten verantwortlich zu machen sind. Diesen Beziehungen sucht die III. Abtheilung des II. Theiles dieses Handbuches gerecht zu werden. Es ist in der Aetiologie und Prophylaxe der Infectionskrankheiten auch die Rolle zu definiren, die der Boden bei diesen zu spielen hat, es ist die Aufgabe festzustellen, in welcher Weise ihm diese Eigenschaften zu entziehen sind. In vorliegender Abtheilung werden wir uns deshalb darauf beschränken müssen, den Boden in der Weise zu analysiren, dass wir alle einzelnen Factoren, die in dessen Zusammensetzung eintreten, soweit sie

hygienisch in Betracht kommen können, für sich allein und in ihren Beziehungen zu einander hervorheben und studiren, ohne jedoch auf den Zusammenhang zwischen Boden und Infectiouskrankheiten ausführlicher einzugehen.

Bei einer derartigen theoretischen Behandlung, die zur Etablierung einer Art Physik oder Physiologie des Bodens führen muss, wird es, dem jetzigen Stande unseres Wissens entsprechend, nicht zu umgehen sein, dass manche Details Erwähnung finden, deren Zusammenhang mit der menschlichen Gesundheit noch nicht festgestellt oder noch nicht erklärt ist, manche sogar, die eine spätere Forschung eventuell als belanglos aus dem Rahmen der Bodenhygiene wieder streichen wird; dass dagegen manche unbeachtet bleiben, denen vielleicht eine grosse hygienische Bedeutung innewohnt. Dass dies beim Boden viel häufiger der Fall sein dürfte, als bei anderen Factoren der Aussenwelt, hat seinen Grund darin, dass gerade für dieses Gebiet die Zeit, seit welcher die wissenschaftliche und experimentelle Forschung sich demselben zugewendet hat, noch eine relativ sehr kurze ist, so dass erst wenige sichere Handhaben gefunden wurden, erst wenige Beziehungen vollständig aufgeheilt sind. Die folgende Darlegung soll deshalb mehr als eine Art Versuch aufgefasst werden, eine möglichst umfassende und systematische Darstellung der Bodenverhältnisse nach hygienischen Gesichtspunkten zu geben.

Wir werden nun bei der Besprechung der einzelnen Bodenverhältnisse derart vorgehen, dass wir von den einfachen Bodenconstituenten, ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften ausgehen, soweit es sich herausgestellt hat, dass sie hygienische Bedeutung besitzen oder gewinnen können, sodann dieselben weiterhin in ihrer Combination und in den durch den Menschen der Cultur gesetzten Veränderungen studiren, um schliesslich zur Darstellung des Gesamtbildes für den Untergrund einer Stadt, für den Boden eines grösseren Landstriches zu gelangen, wie er für die hygienische Beurtheilung von Wichtigkeit ist. Hierbei werden wir allerdings nicht umhin können, an einzelnen Stellen auf die Infectiouskrankheiten und auf die Beziehungen des Bodens zu denselben kurz hinzuweisen.

Vor allem werden wir uns aber in dieser Arbeit von zwei wesentlichen, hygienischen Gesichtspunkten leiten lassen, auf welche hin alle Momente untersucht werden sollen.

Der eine derselben sucht Einblick in alle jene Bedingungen zu gewinnen, welche zu einer Communication, einer Wechselbeziehung zwischen Boden und Oberfläche, und also auch zwischen Boden und Menschen führen, welche dem Boden einerseits fremdartige Stoffe

zuzuführen, andererseits wieder dem Boden direct oder indirect entstammende, gasförmige, flüssige oder feste Stoffe, und besonders auch Organismen an die Oberfläche, an den Menschen zu verbringen vermögen, gleichgiltig ob dies nun auf dem Wege unmittelbaren Contactes geschieht oder durch Vermittlung von Luft, Wasser, Mauern u. dgl.

Der andere Gesichtspunkt umfasst alle jene Momente, die zur Entwicklung von Organismen, besonders solchen, die als Krankheitserreger zu betrachten sind, Veranlassung geben können oder diese in ihrer Entwicklung, ihrem Wachsthum, ihren biologischen Eigenschaften zu modificiren, zu begünstigen oder zu hemmen vermögen.

## ERSTER THEIL.

# Die Bodenconstituenten und ihre Eigenschaften.<sup>1)</sup>

## ERSTES CAPITEL.

### Petrographische Classification der Bodenbestandtheile.<sup>2)</sup>

Wir müssen als Ausgangspunkt unserer Darstellung die Petrographie, Gesteinslehre oder Lithologie nehmen, denn sie lehrt uns die Zusammensetzung unserer Erdkruste kennen, indem sie die Aufgabe hat, das Material der Gesteine — und Gesteine, Felsarten, Gebirgsarten werden alle Mineralaggregate genannt, welche zum Aufbau der Erdkruste in wesentlich hervorragender Weise beitragen, mögen dieselben nun als feste Massen oder als lockere oder lose Anhäufungen sich darbieten — in mineralischem, chemischem

1) Ausser den im Texte citirten Literaturnachweisen müssen die zahlreichen Lehr- und Handbücher der Agriculturchemie resp. Agriculturphysik hier Erwähnung finden. Die hauptsächlichsten sind: SCHÜBLER, Grundsätze der Agriculturchemie. 1838. — TROMMER, Handbuch der Bodenkunde. 1857. — BISCHOF, Lehrbuch der physikalischen und chemischen Geologie. II. Aufl. 1863—1871. — SCHUHMACHER, Die Physik des Bodens in ihren theoretischen und practischen Beziehungen zur Landwirthschaft. 1864—1867. — KNOP, Der Kreislauf des Stoffes. Lehrbuch der Agriculturchemie. 1868. — GIRARD, Grundlage der Bodenkunde für Land- und Forstwirthschaft. 1868. — MAYER, AD., Lehrbuch der Agriculturchemie. 1871. — DETMER, Die naturwissenschaftlichen Grundlagen der allgem. landwirthschaftlichen Bodenkunde. 1876. — WEHNEN, Boden und Steine. 1883. — LORENZ V. LIBURNAU, Die geologischen Verhältnisse von Grund und Boden für die Bedürfnisse der Land- und Forstwirthe. 1883.

2) Bei diesem Capitel erfreute ich mich der Mitarbeiterschaft meines Freundes Dr. A. PENCK, Professor der Geographie in Wien.



und physikalischem Bezuge kennen zu lernen; die Formen, unter welchen sich die Gesteine darbieten, zu ermitteln.<sup>1)</sup> Es scheint ein Eingehen auf diesen Gegenstand auch schon insofern geboten, als eine Orientirung auf dem Gebiete der Bodenphysik ohne Kenntniss, zum mindesten der Nomenclatur, nur schwer möglich ist. Von wesentlicher Bedeutung wäre allerdings, wenn wir der Petrographie bereits für jede einzelne Gesteinsart genau die betreffenden physikalischen und chemischen Verhältnisse in allen ihren Variationen entnehmen könnten, was bisher nicht möglich ist. Es treten oft dieselben mineralogischen Bestandtheile unter verschiedenen Gestaltungen in verschiedener Aggregation und Structur auf; in den älteren Ablagerungen der Gebirgsgegenden als erhärtete Gebirgs- oder Felsarten, wie Thonschiefer, Sandstein, Conglomerat, Kalkstein; in den jüngeren Ablagerungen der Ebenen und Niederungen als Thon, Sand, Gerölle, die noch nicht zu Fels geworden sind. Hierdurch wird aber oft die Stellung, die der Boden einer Gegend in hygienischer Beziehung einnimmt, vollständig verschoben.

Im Allgemeinen ist die Zahl der Mineralien, welche gesteinsbildend auf der Erde auftreten, ausserordentlich gering, und noch geringer ist die Zahl der Elemente, welche in reichlicher Menge die Erdkruste zusammensetzen helfen. Freie Kieselsäure bildet in Form von Quarz einen wichtigen gesteinsbildenden Factor, untergeordnet ist ihr Auftreten als Tridymit. Eine sehr bedeutende Rolle bei der Zusammensetzung der Gesteine bilden die Silikate von Thonerde, Eisen, Magnesia, Kalk, Kali, Natron. Es ist hier vor allem die Gruppe der Feldspathe zu nennen, welche sämmtlich Alkali-Thonerde-Silikate darstellen. Der monokline Orthoklas (Kalifeldspath), der trikline Plagioklas (Kalk-Natronfeldspath), die selteneren Leucit und Nephelin sind die hauptsächlichsten Vertreter der Feldspathgruppe, welche namentlich in systematischer Hinsicht wesentlich zu beachten sind. Gleichsam als deren Antipoden treten die Mineralien der Glimmer- und Hornblendegruppe auf. Die letztere wird durch die chemisch nahe verwandten Mineralien Augit und Amphibol (Hornblende) repräsentirt, welche Silikate der alkalischen Erden (Kalk, Magnesia, auch Eisen) mit geringem Thonerdegehalt sind. Hierher gehören auch Diallag, Hypersthen und Enstatit. Die Glimmergruppe umfasst den Magnesiaglimmer (Biotit) und Kaliglimmer (Muscovit), sie stellt sehr complicirt zusammengesetzte Alkali-Thonerde-Silikate mit häufigem Eisen- und Wassergehalte dar. Der Olivin ist ein sehr basisches Silikat der alkalischen Erden Magnesia und Eisenoxydul, der Serpentin ist das Hydrat dieser Verbindung. Talk ist gleichfalls ein wasserhaltiges Magnesiumsilikat, Chlorit ein wasserhaltiges Thonerde-Magnesia-Silikat. Die Carbonate rivalisiren mit den Silikaten hinsichtlich ihrer Betheiligung am Bau der Erdkruste, wenngleich nur die von Eisen, Kalk und Magnesia reichlich auftreten. Kalkcarbonat spielt als Kalkspath

1) ZIRKEL, Lehrbuch der Petrographie.



und Aragonit eine wichtige Rolle, seltener ist das reine Magnesiicarbonat, Magnesit, häufig dagegen eine Verbindung bezüglich ein Gemenge beider, der Dolomit. Eisenoxydulcarbonat, der Siderit oder Spath-eisenstein tritt auch gesteinsbildend auf. Von Sulphaten mögen hier nur das wasserfreie Kalksulphat, Anhydrit, das wasserhaltige Kalksulphat, Gyps, erwähnt werden. Von Phosphaten bildet der Apatit, ein Kalkphosphat mit Chlor- und Fluorgehalt, zwar nur einen accessorischen Gesteinsgemengtheil, welchem jedoch durch seine weite Verbreitung eine hohe Bedeutung zukommt. Beschränkt ist das Auftreten von Chlorverbindungen, welche nur im Steinsalze wirklich gesteinsbildend auftreten; und von der grossen Zahl der Erze ist nur das Magneteisen Gesteinsbildner oder Gesteinsgemenge.

Hinsichtlich ihrer mineralogischen Zusammenstellung theilt man die Gesteine ein in einfache und gemengte, je nachdem sich ein oder mehrere Mineralien an ihrem Aufbau betheiligen; man unterscheidet ferner klastische und nichtklastische Gesteine, und hat so auf der einen Seite die Gesteine, welche sich aus Trümmern anderer aufbauen und dies durch ihre Beschaffenheit verrathen, sowie auf der anderen Seite solche, welche einen durchaus einheitlichen Charakter besitzen. Diese letzteren sind meist krystallin ausgebildet, d. h. sie bestehen aus einem Aggregat von Krystallen oder vielmehr krystallisirten Mineralien, die sich jedoch der Regel nach in ihrer Ausbildung gegenseitig gehemmt haben. Sind die einzelnen Krystalle leicht unterscheidbar, so nennt man das Gestein makrokrystallin, sinken sie zu mikroskopischer Kleinheit herab, so bezeichnet man dasselbe als mikrokrystallin. In vielen Gesteinen endlich kommt eine amorphe, akrySTALLINE Masse, ein Glas, vor.

Die grosse Mehrzahl aller Gesteine stellt Sedimente, Absätze, dar. Solche Sedimente können sich sowohl in der Luft, als auch im Wasser bilden, sie können mechanische oder chemische sein und ihre Bildung kann häufig durch organische Thätigkeit befördert worden sein, in welchem Falle man dann von zoogenen oder phytogenen Gesteinen redet. Einen geringeren Procentsatz der Gesteine bilden vulkanische Gesteine, welche man auch als plutonische bezeichnete. Die Zahl der kryptogenen Felsarten, deren Ursprung in Dunkel gehüllt ist, nimmt täglich ab, wenngleich auch nicht zu leugnen ist, dass die Frage, ob manche Sedimente in ihrer ursprünglichen Form vorliegen oder ob sie eine beträchtliche Umwandlung (Metamorphose) erlitten haben, noch keineswegs endgültig gelöst ist.

Gruppirt man die Gesteine nach ihrer Structur, so erhält man auf der einen Seite die massigen, ungeschichteten Gesteine, auf der anderen die Schichtgesteine, d. h. diejenigen, welche einen Aufbau aus einzelnen Lagen oder Schichten erkennen lassen. Die massigen Gesteine repräsentiren zugleich die, welche vulkanischen Ursprungs sind, die Schichtgesteine, die Sedimente. Die ersteren kann man dann auf Grund ihrer Structur weiter theilen in körnige, wenn ihre einzelnen Gemengtheile von gleicher Grösse und deutlich sichtbar sind, in porphyrische, wenn gewisse Gemengtheile vor den anderen durch ihre Grösse ausgezeichnet sind, so dass sie gleichsam in einer Basis eingebettet erscheinen, und in glasige, wenn das Gestein keine Individualisirung in einzelne

mineralische Bestandtheile erkennen lässt, sondern aus einer homogenen, amorphen Masse besteht. Die Schichtgesteine zerfallen in nichtklastische und klastische, je nachdem sie eine einheitliche Zusammensetzung besitzen oder aus fremden Gesteinselementen zusammengesetzt werden. Diese letzteren, klastischen Gesteine kann man weiter gliedern in Psaphite, aus groben Trümmern bestehend (*ψῡφος*, kleiner Block), Psammit, aus kleineren Trümmern bestehend, und Pelite, solche, welche sich aus ausserordentlich kleinen Trümmern aufbauen.

## I. Massengesteine.

1. Die **Granit- und Felsitporphyrfamilie** umfasst Orthoklasgesteine mit Quarz und Glimmer bezüglich Hornblende.

Der Granit besteht aus einem körnigen Gemenge von Quarz, Feldspath (Orthoklas und Plagioklas) und Glimmer (Kali- oder Magnesiaglimmer, häufig beide). Umfasst Gesteine mit 70—80 % Kieselsäure. Verwittert in Kaolin. Tritt in mächtigen Stöcken auf (Harz, Erzgebirge, Böhmerwald) oder in Form kleiner Gänge, in welchen er oft eine besonders grobkrySTALLINE Ausbildung nimmt (Pegmatit). Von dem normalen Granit mögen geschichtete Granite (Lager- oder Gneissgranite) scharf gesondert werden, welche zu den Schichtgesteinen gehören. Durch Aufnahme von Hornblende geht der Granit in Hornblendegranit und in

Syenit über, welcher ein Gemenge von Orthoklas und Hornblende mit fast nie fehlendem Quarze darstellt. Walten einige Bestandtheile vor den anderen sehr durch ihre Grösse vor, so wird aus dem Granit ein Granitporphyr.

Der Felsit- oder Quarzporphyr ist ein Gestein von der mineralischen und chemischen Zusammensetzung des Granits in porphyrischer Ausbildung, d. h. man sieht in einer dichten Grundmasse (Basis) Krystalle von Quarz, Feldspath oder Glimmer. Die Grundmasse löst sich unter dem Mikroskop häufig in ein mikrokrySTALLINES Mineralaggregat auf, bisweilen ist sie jedoch auch amorph.

Der Porphyrit ist die porphyrische Ausbildung eines Syenitgemenges. Felsitporphyre und Porphyre bilden Gänge und Decken (Pfalz, Thüringen, Sachsen).

Der Felsitpechstein umfasst Gesteine von der chemischen Zusammensetzung des Granits oder Felsitporphyrs in glasierer Ausbildung.

Er findet sich nur local in Gängen oder wenig ausgedehnten Decken.

2. Die **Grünsteinfamilie** umfasst Plagioklasgesteine mit Hornblende oder Augit, gelegentlich auch Olivin, welche in England als Trappgesteine zusammengefasst werden.

Diorit, ein Gemenge von Plagioklas und Hornblende

Diabas, ein Gemenge von Plagioklas und Augit, bisweilen mit Olivin

Gabbro, ein Gemenge von Plagioklas in Diallag

Gesteine von 45—70 % Kieselsäuregehalt, welche in ihrem Auftreten Aehnlichkeit mit dem Granit besitzen; sie bilden gern Stöcke, häufig aber auch Decken.

Augitporphyr Melaphyr	}	sind die porphyrische Ausbildung obiger Gesteinsgruppe mit theils mikrokrySTALLINER, theils AMORPHER Basis. Der Melaphyr ist vor dem Augitporphyr durch seinen Olivinegehalt ausgezeichnet. In ihrem Auftreten und ihrer Verbreitung stehen sie den Felsitporphyren nahe.
--------------------------	---	---

Melaphyrpechstein ist die glasige Ausbildung der beiden letzt-erwähnten Gesteinstypen.

3. Die **Trachytfamilie** umfasst Gesteine von 65—80 % Kieselsäuregehalt, welche hinsichtlich ihrer chemischen und mineralogischen Zusammensetzung der Granit- und Felsitporphyrfamilie entsprechen, sich von derselben jedoch durch ihren Glasgehalt, durch ihre eigenartige, bald körnige, bald porphyrische Beschaffenheit und ihr geologisches Auftreten unterscheiden.

Quarztrachyt oder Rhyolith mit Quarz, Orthoklas (Sanidin) und Glimmer, oft in porphyrischer Ausbildung.

Trachyt, Orthoklas (Sanidin) und Glimmer, bezüglich Hornblende oder Augit ohne Quarz.

Andesit, Plagioklas mit Augit (Augitandesit) oder Hornblende (Hornblendeandesit); porphyrisch ausgebildet.

Propylit, eine Varietät des Andesit von wenig porphyrischer Beschaffenheit.

Trachytpechstein, Perlit, glasige Ausbildung des Trachytypus, welche im

Bimsstein schaumig aufgeblasen vorliegt.

Phonolith, Klingstein, enthält auch Nephelin, ausgezeichnet durch seine plattige Absonderung.

4. **Basaltfamilie**, Gesteine aus Augit, Olivin, Magnetkisen und Plagioklas bestehend, welche letzterer durch Nephelin oder Leucit vertreten sein kann. Mehr oder minder reichlicher Glasgehalt. 40–50 % Kieselsäure.

Feldspathbasalt, enthält Plagioklas.

Nephelinbasalt, enthält Nephelin.

Leucitbasalt, enthält Leucit; die beiden letzteren werden auch als Tephrite bezeichnet.

Limburgit, ein glasreicher Basalt ohne Feldspath.

Je nach dem Grade der Körnigkeit unterscheidet man auch:

Dolerit, ein grobkörniger Basalt, und

Anamesit, ein mittelkörniger Basalt.

Die Gesteine der Trachyt- und Basaltfamilie bilden die Laven der heutigen Vulkane; sie bilden in früheren Vulkangebirgen ausgedehnte Decken und Kegelberge (Vogelgebirge, Böhmen, Ungarn).

5. **Olivinegesteine**, bestehend vorwiegend aus Olivin mit Mineralien der Augitgruppe (Lherzololith, Dunit, Olivinfels), bilden durch Aufnahme von Wasser Serpentine.

## II. Schichtgesteine.

### A. Einfache, nichtklastische Schichtgesteine.

Eis. Das Eis tritt als Gletschereis in Hochgebirgen und Polarländern (Grönland), sowie als gemeines Eis in Sibirien, Alaska und Canada



gesteinsbildend auf, in welch letzteren Ländern der Boden bis zu namhafter Tiefe gefroren ist und aus Lagern gefrorenen Schlammes und reinen Eises besteht.

Steinsalz bildet öfters mächtige Lager (Stassfurt, Spereberg, Wieliczka) in den verschiedenen geologischen Systemen. Damit zusammen kommen gewöhnlich Kali und Magnesia, Chlortüre und Sulphate vor. Das Steinsalz hat als Verdunstungsrückstand früherer Meere oder Binnenseen zu gelten.

Kalkstein, ein mit alleiniger Ausnahme der Kreide krystallinisches Aggregat von Kalkspath; bisweilen körnig, Marmor, meist aber dicht (gemeiner Kalkstein, lithographischer Schiefer), häufig verunreinigt durch kohlige Substanzen (Anthrakonit), durch thoniges Material (mergeliger Kalkstein). Häufig zoogen (Korallenkalk, Kreide), bisweilen Quellenabsatz (Kalktuff).

Dolomit ist entweder ein Gemenge oder eine Verbindung von kohlensaurem Kalk und kohlensaurer Magnesia in wechselnder Menge.

Anhydrit, wasserfreies Kalksulphat, durch Wasseraufnahme unter Aufquellen übergehend in

Gyps, wasserhaltiges Kalksulphat, bisweilen körnig (Alabaster), meist dicht (gemeiner Gyps).

Quarzfels, aus reinem Quarz bestehend, Polirschiefer, aus kieseligen Diatomeenschalen bestehend, also phytogen, Kiesel-sinter, ein Quellenabsatz, sind die einfachen Kieselgesteine.

Kohlengesteine, phytogene Ablagerungen, mit mehr oder minder hohem Gehalt an Kohlenstoff, Anthracit mit 90 % Kohlenstoff, Steinkohle mit 80 % Kohlenstoff, Pech- und Braunkohle mit 70 % Kohlenstoff, Torf mit 60 % Kohlenstoff.

Bitumen imprägnirt häufig Gesteine (Dysodil, Infusorienschiefer mit Bitumen getränkt), Brandschiefer, Asphaltschiefer. Dasselbe gilt von Petroleum, welches in Nordamerika und Galizien manche Gesteine völlig durchtränkt.

## B. Zusammengesetzte, nichtklastische Schichtgesteine.

### Gruppe der zusammengesetzten, krystallinischen Schiefer:

Gneissgesteine, bestehend aus Orthoklas, Quarz und Glimmer, und zwar bald nur Kaliglimmer (Muscovitgneiss, rother Gneiss), bald Magnesiaglimmer (Biotitgneiss, grauer Gneiss), bald beide Glimmerarten (zweiglimmeriger Gneiss). Wird der Glimmer durch Hornblende ersetzt, so entsteht Hornblendegneiss. Ein glimmerfreier Gneiss ist der Granulit. Häufig Granat als accessorischer Gemengtheil (Granatgneiss). Bisweilen undeutlich geschichtet (Gneissgranit, Lagergranit).

Glimmerschiefer, bestehend aus Quarz und Glimmer.

Diabasschiefer, Gabbroschiefer, Dioritschiefer, als Grünschiefer häufig vereinigt, sind geschichtete Gesteine von der Zusammensetzung des Diabas, Gabbro, Diorit.

Phyllitgesteine, mikrokrystalline, glimmer- und quarzreiche Schiefer, mit seidenglänzender Oberfläche; ausgezeichnet geschichtet.

Diese zusammengesetzten krystallinen Schiefer bilden im Verein mit krystallinem Kalk und Quarzfels die Formation der krystallinen Schiefer.



### C. Klastische Schichtgesteine

bestehen aus mehr oder minder grossen Trümmern präexistirender Gesteine, welche entweder cämentirt oder nur lose aufeinander gehäuft sind. Es lassen sich jedoch keine scharfen Grenzen zwischen losen und cämentirten klastischen Gesteinen ziehen, ein und dieselbe Ablagerung erscheint hier lose, dort verkittet. Je nach dem Ursprung der einzelnen Bestandtheile kann man monogene, polygene und vulkanische Trümmergesteine unterscheiden.

Psephite, Trümmergesteine, deren Fragmente mehr denn Haselnussgrösse besitzen. Sind die Fragmente eckig, so nennt man dies Gestein Breccie (Granit-, Porphyr-, Knochen- und Kalkbreccie), sind die Fragmente gerundet, so heisst das Gestein Conglomerat oder Nagelfluh (Flintconglomerat, aus Feuersteinen bestehend, Porphyr-, Trachyt- u. s. w. Conglomerat, bunte Nagelfluh der Schweiz, aus Geröllen von Kalk, krystallinischen Schiefen und Grauwacken bestehend, Kalknagelfluh, lediglich aus Kalken bestehend, löcherige (diluviale) Nagelfluh, nur wenig verkittet). Conglomerate und Nagelfluhablagerungen sind die Geröllbildungen der Vorzeit, welche je nach dem Orte ihres Auftretens ihre Zusammensetzung ändern und je nach ihrem Alter und localen Umständen verschiedenen fest verkittet sind.

Psammite, Trümmergesteine, aus höchstens erbsengrossen Fragmenten bestehend, Sandsteine. Man unterscheidet Kalksandsteine, Eisen-sandsteine nach der Art der Bestandtheile, kieselige und thonige Sandsteine nach der Natur des Bindemittels. Arkose ist ein koalinhaltiger Sandstein mit Glimmer, ein regenerirter Granit, Grauwacke ein stark verkitteter polygener, an thonigen Materialien reicher Sandstein. Quadersandstein, Schilfsandstein u. s. w. sind Bezeichnungen für geologische Complexe. Psammite sind die verkitteten Sande der Vorzeit.

Pelite setzen sich aus ausserordentlich feinkörnigen Trümmern zusammen, aus schlammigen Bestandtheilen. Daneben stellen sich häufig, wohl als secundäre Bildungen, kleine krystallinische Partikel ein, so dass viele Pelite schon zu den krystallinischen Schiefen hinneigen und nur schwer von denselben getrennt werden können. Die chemische Zusammensetzung dieser Pelite ist variabel, es sind meist mehr oder weniger kalkreiche Thongesteine.

Nach dem Grade der Erhärtung unterscheidet man

Thonschiefer, dem Phyllite nahe stehend, ziemlich reich an krystallinen Gemengtheilen (Thonschiefernädelchen), mit ausserordentlich entwickelter Schichtung, daher in feine Platten spaltbar (Dachschiefer, ein sehr ebenschiefriger Thonschiefer, Tafelschiefer, ein durch kohlige Substanzen schwarz gefärbter Schiefer); Griffelschiefer sind Thonschiefer, welche infolge ihrer Schichtung und Schieferung sich in Stengel und griffelförmige Stifte spalten lassen.

Schieferthon, von derselben chemischen Zusammensetzung wie der Thonschiefer, aber weniger fest und weniger leicht in Platten spaltbar. Zerfällt an der Luft in thonige Materialien. Häufig mit kohligen Substanzen imprägnirt (Kohlenschiefer) oder reich an Bitumen (Brand- und Oelschiefer, Asphaltschiefer). Der Kupferschiefer ist ein mit Schwefelkupfer sehr stark imprägnirter Schieferthon.

Vulkanische Trümmergesteine, vulkanische Tuffe sind die cämentirten, losen, vulkanischen Auswürflinge der Schlacken, Sande und Aschen, welche bei der Verkittung meist eine ziemliche Alteration ihrer ursprünglichen Beschaffenheit erlitten haben. Nach der Grösse der sie aufbauenden Gemengtheile erscheinen die vulkanischen Trümmergesteine als Psephite, Psammite, Pelite; nach der Art ihrer Componenten kann man Porphyr-, Diabas-, Melaphyr-, Trachyt-, Basalttuffe unterscheiden. Schalstein ist ein thonschieferähnlicher Diabastuff, Palagonit-tuff eine Abart des Basalttuffes; Trass nennt man in der Rheinprovinz (Laacherseegegend) und im Riess einen Trachyttuff, welcher einen hydraulischen Mörtel liefert, dasselbe bezeichnet Puzzolan bei Neapel. Peperin ist ein polygener Tuff des Albanergebirges.

Die losen Trümmergesteine werden repräsentirt durch meist eckigen Gebirgsschutt, aus den losen Trümmern hoher Felswände bestehend, durch die Ablagerungen loser runder Gerölle, sowie durch Sandmassen. Die feinsten Trümmergesteine bestehen nicht bloss aus mechanisch entstandenen Trümmern, sondern auch aus solchen, welche bei Verwitterung von Gesteinen sich gebildet, welche jedoch eine Umlagerung bereits erlitten haben. Man bezeichnet diese Trümmergesteine als limmatische.

Thon (plastischer Thon, Töpferthon, Clay), in idealer Gestalt ein wasserhaltiges Thonerdesilikat. Trocken: hart und rissig, feucht: plastisch. Thone saugen begierig Wasser, Salzlösungen, Oele und Fette ein; nach dem Aufsaugen des Wassers bilden sie einen quellbaren, schneidbaren Teig, der das Wasser mit solcher Kraft festhält, dass er über 70 % davon aufnehmen kann, ohne es als Tropfen wieder von sich zu geben. Beim Austrocknen zieht sich der feuchte Thon zusammen und berstet; ein kleiner Theil des Wassers im Thone geht erst bei der Glühhitze fort, es brennt sich der Thon und büsst dabei seine Fähigkeit, plastisch zu werden und Wasser zu halten, ein. Thon von den angedeuteten Qualitäten ist ziemlich selten, meist ist er verunreinigt.

Letten ist ein eisenreicher, fetter Thon von meist rother Farbe.

Tegel nennt man den kalkreichen, mergeligen Thon des Tertiärs im Wienerbecken.

Flinz ist der ähnlich beschaffene Thon im Tertiär Südbayerns.

Alaunthon, ein mit Schwefeleisen und Bitumen imprägnirter Thon, dessen Beimengung an der Luft oxydirt.

Opalinus-, Ornaten-, Wealden-, Speeton-, Hils- und Londonthon sind Bezeichnungen gewisser geologischer Horizonte, ohne feste petrographische Bedeutung.

Lehm ist ein verunreinigter Thon mit geringem Kalk- und Eisengehalt, welcher häufig klastische Elemente in sich erkennen lässt.

Der Geschiebelehm Nordeuropas, der Blocklehm Süddeutschlands, der Till Schottlands sind lehmige Gesteine, in welchen mehr oder minder grosse Gesteinsfragmente eingebettet sind. Die ganze Ablagerung ist ursprünglich sehr zähe und äusserst fest gepackt. Ursprünglich ist die Farbe dieses Geschiebelehms blau, durch Oxydation des in ihm enthaltenen Eisens wird er braun.

Der Löss, in Galizien fälschlich Blocklehm genannt, ist ein ausserordentlich feiner, der Regel nach kalkhaltiger Gesteinsstaub, von sehr

homogener Zusammensetzung. Verwitternd geht der Löss in normalen Lehm über, vor welchem er sonst durch seine ausserordentliche Porosität im trockenen Zustande ausgezeichnet ist.

Tschernosem ist ein humoser Löss, welcher in Russland und Sibirien weit verbreitet ist.

Vulkanische Schlacken, Sand und Asche sind die in ihrer Beschaffenheit sehr schwankenden, losen, vulkanischen Trümmergesteine. Ihre Zusammensetzung weicht bisweilen von jener ab, welche die mit ihnen zugleich ausgeworfenen Gesteine zeigen.

Es mögen hier noch schliesslich einige Gesteinsarten von thonigem Habitus angereiht werden, welche als Verwitterungsprodukte (s. Cap. 2) auftreten, die in situ geblieben sind, also keine Sedimente darstellen. Hierher gehören:

Kaolin, das Verwitterungsprodukt orthoklasreicher Granite und Porphyre;

Laterit, ein eisenreicher Thon, welcher in Ostindien, Mittelafrika und Brasilien als Verwitterungsprodukt von eisenreichen, krystallinischen Schiefen und Basalt auftritt;

Nyiriok, ein Verwitterungsprodukt von Trachyten in Ungarn; verschiedene

Lehmarten (Argile à silex, clay with flints), sowie auch

Terra rossa, welche beide letzteren Arten als Verwitterungsrückstand anscheinend reiner Kalke auftreten. Die

Dammerde endlich ist das durch Pflanzenwuchs und menschliche Thätigkeit modificirte Verwitterungsprodukt sämmtlicher Gesteine (Cap. 2).

---

## ZWEITES CAPITEL.

### Physikalische und chemische Veränderungen der Erdkruste.

Die in Cap. I geschilderten Bodenbestandtheile erleiden, soweit sie mehr oder weniger oberflächlich sich befinden, gewisse Veränderungen, die sich besonders auf den Aggregatzustand, die Structur derselben, z. Th. auch auf die chemische Zusammensetzung beziehen. Indem wir nun vorläufig absehen von jenen Veränderungen der Erdoberfläche, die überall dort auftreten, wo Wassergewalt transportfähiges Material vorfindet, um es mit sich zu tragen und an entfernten Orten zu deponiren und die als mächtiger geologischer Factor in dem Aufbau der Erdoberfläche zur Bildung des Alluviums, des Schwemmlandes führen (vergl. Theil II), wollen wir nur jenen Processen in den oberflächlichen Bodenschichten, die hauptsächlich zur Aenderung der Cohäsion und damit auch des hygienischen Charakters der Bodenoberfläche führen, unsere Aufmerksamkeit zuwenden und in welcher die hauptsächlichste Rolle



## a) die Verwitterung

spielt. Der Verwitterungsprocess besteht in einer combinirten Wirkung physikalischer und chemischer Agentien der Atmosphäre auf die Gesteine und bewirkt, dass allmählich krystallinische und klastische Gesteine in lose Trümmernmassen und Gebirgsschutt umgewandelt werden. In erster Linie ist es der Temperaturwechsel, die wechselnde Erwärmung und Abkühlung, die den Zusammenhang in etwas lockert, zu Rissen, Sprüngen, Spaltbildungen führt und so wieder anderen Agentien den Zutritt ins Innere vermittelt. Es erfolgt dies besonders dann, wenn das die Gesteine zusammensetzende Material nicht homogen ist. Das Verhalten der verschiedenen Bodenarten gegenüber der Wärme ist nämlich (vergl. Cap. IV) ein wechselndes, je nach der mineralogischen Zusammensetzung, nach Farbe, Structur, Oberfläche, Exposition, Wassergehalt u. s. w., so dass die durch die Wärme herbeigeführte Ausdehnung resp. Zusammenziehung innerhalb einer aus verschiedenartigem Material zusammengesetzten Felsart eine verschiedene sein muss.

Nach SENFT <sup>1)</sup> werden 1. Felsarten, welche aus einem Gemenge von weisslichen und schwärzlichen Mineralarten bestehen, an ihrer Oberfläche weit rascher und stärker rissig als Felsarten, deren Gemengtheile weiss und aschgrau oder dunkelgrau und schwarzgrün, also in ihrer Färbung sich ähnlich sind;

wird 2. von zwei Felsarten, welche ganz gleiche Bestandtheile besitzen, diejenige, deren Gemenge grosskörnig ist, so dass der Farbenunterschied der einzelnen Gemengtheile grell absticht, schneller rissig und locker als diejenige, deren Gemenge feinkörnig und so dicht ist, dass man die einzelnen Minerale in ihrer Färbung nicht mehr voneinander unterscheiden kann. So verwittert der grobkörnige Diorit weit rascher als der Aphanit, trotzdem beide aus grauweissem Oligoklas und schwarzer Hornblende bestehen; der grobkörnige Dolerit rascher als der dichte Basalt, trotzdem beide aus grauem Labrador und schwarzem Augit bestehen.

Es sind vorzüglich die Verschiedenheiten in der Wärmecapazität, der Wärmeabsorption und -emission und der Wärmeleitung, die durch diese verschiedenen Eigenschaften der Materialien bedingt sind und so die Differenzen im Ablauf der Verwitterung herbeiführen.

An diese durch Temperatureinflüsse bedingten Continuitätstrennungen schliesst sich dann noch die Wirkung des Wassers an,

---

1) F. SENFT, Der Steinschutt und Erdboden nach Bildung, Bestand, Eigenschaften, Veränderungen und Verhalten zum Pflanzenleben. 1867.



indem dieses allmählich in die Poren eindringt und infolge der beim Gefrieren eintretenden Volumszunahme die Partikel auseinandertreibt und zersprengt. Es ist dies abermals eine, wenn auch nur mittelbare, Wärmewirkung.

Das Wasser übt aber auch im flüssigen Zustande mechanische Wirkung aus, insoferne es beim Fallen, Fließen ununterbrochen die Felsen mechanisch angreift, kleine Partikel von ihnen loslöst und weiter transportirt, sie auf dem weiteren Transport als Werkzeuge zu weiteren Zerstörungen, Abreibungen benutzend. Enthalten die Massen unter ihren Gemengtheilen Thon, so wird dieser Bestandtheil allmählich erweicht und fortgeschlemmt, also das Gefüge gelockert, indem ja der Thon in vielen Fällen das Bindemittel für das Gerölle, den Sand abgibt.

Sodann wirkt das Wasser zerstörend auf die Felsen, indem es als Vehikel für verschiedene Stoffe dient (Sauerstoff, Kohlensäure), welche chemische Veränderungen in den Bodenbestandtheilen herbeiführen, und zur Auflösung einzelner derselben Veranlassung geben. Auch direct übt das Wasser chemische Wirkung aus, indem es als Hydratwasser in neu sich bildende Verbindungen eintritt (Umwandlung von Eisenoxydul in Eisenoxydhydrat, von Anhydrit in Gyps).

Vorwiegend auf chemischem Wege wirken Sauerstoff, Kohlensäure, Ammoniak, Salpeter- und salpetrige Säure, als Bestandtheile der Atmosphäre. Auf diese Weise werden viele Gesteine, wie Granit, Kalkstein, Sandstein, Thon, welche kleine Mengen von Eisen in Form von Eisenoxydulsilikat oder von Eisencarbonat enthalten, indem sich unter dem Einfluss des Sauerstoffs und des Wassers Eisenoxydhydrat bildet, aufgelockert bis zu schaliger, kugeligter Absonderung. In Feldspath führenden Gesteinen (wie Granit, Porphyr, Trachyt, Gneiss, Granulit u. s. w.) unterliegt der Feldspath unter dem Einflusse von kohlensäurehaltigem Wasser dem sog. Carbonisierungsprocesse, indem die Alkalien und die Kalkerde des Feldspaths als kohlensaure Salze fortgeführt werden, ein Theil der Kieselsäure frei wird und wasserhaltige, kieselsaure Thonerde als Porcellanerde oder Kaolin zurückbleibt. Die Gesteine zerfallen infolge dessen in Gries. In den Kalksteinen löst kohlensäurehaltiges Wasser den kohlensauren Kalk als Bicarbonat auf und verursacht durch die Wegführung desselben aus dolomitischen Gesteinen die cavernöse Structur desselben und deren Zerfall zu Pulver und Gries.

Endlich tritt auch die Thätigkeit organischen Lebens, das Wachsthum der Pflanzen, in mannigfacher Wirkungsweise hinzu. Indem sich Pflanzen, z. B. Flechten, an der Oberfläche von Felsmassen niederlassen, verändern sie in erster Linie den physikalischen Charakter

derselben. Sie machen die Oberfläche weich, verändern das Wärmestrahungsvermögen, verhindern den raschen Abfluss des Wassers, halten die Feuchtigkeit fest, lockern den Zusammenhang, indem sie allmählich in die Tiefe wachsen. So werden helle, dichte Kalksteinfelsen, die an und für sich der Verwitterung sehr lange widerstehen, sobald sich auf denselben Flechten angesiedelt haben, bald an der Oberfläche mürbe, rissig, löcherig. Und nicht blos durch ihre Lebensthätigkeit wirken die Pflanzen als Agentien der Verwitterung. Im abgestorbenen Zustande sind sie die Veranlassung, dass sich nun andere, höher organisirte Pflanzen, die bereits einen etwas vorbereiteten Boden benöthigen, ansiedeln können. Ausserdem aber geben die abgestorbenen Pflanzen durch die sich entwickelnden Verwesungssubstanzen (Humus, Humussäure) Veranlassung zu weiteren Zersetzungen.

Diese Agentien wirken, wie wir sehen, nicht gleichmässig zerstörend auf alle Bodenarten. Je kieselsäurereichere Silikate wir z. B. vor uns haben, desto schwieriger werden sie von dem kohlenensäurehaltigen Wasser zersetzt und zwar die kalihaltigen wieder schwieriger als die natronhaltigen. Am leichtesten verwittern jene Silikate, die einen hohen Kalkgehalt haben. Auch nach der geographischen Lage, den klimatischen Verhältnissen, variirt die Raschheit der Verwitterung. In der Polarzone, in der Region des ewigen Eises, geht der Verwitterungsprocess weit langsamer vor sich, als in der gemässigten Zone. Auf diesem Wege der Verwitterung lösen sich nun ganze Schutthalden von den Kämmen und Gehängen des Gebirges los und gelangen theils durch freien Fall, theils mit Hilfe von Lawinen und Wasser in die Tiefe. Die Bildung von Blockgipfeln, Felsmeeren, Höhlen wird hierdurch befördert und der geologische Charakter mancher grossen Gebiete wird durch diese Processe der Verwitterung beeinflusst.<sup>1)</sup> Damit kann aber auch der gesundheitliche Charakter einer Gegend eine vollständige Umänderung erleiden. Ein schönes, recht charakteristisches Beispiel hierfür führt uns FRIEDEL<sup>2)</sup> in seiner Schilderung der Bodenbeschaffenheit von Cantons Umgebung vor. „Nackte Granitfelsen, von den heftigen, tropischen Regengüssen abgewaschen, zeigen nur da, wo die Abhänge eine gewisse Abschüssigkeit nicht übersteigen, etwas Vegetation an Sträuchern und Bäumen. Ueberall ist der Verwitterungsprocess des harten Gneiss und des noch härteren Granites von einer Rapidität und Intensität gewesen, dass man noch fast

1) Vergl. neben den Lehr- und Handbüchern der Geologie auch E. VAN DEN BROECK, Memoire sur les phénomènes d'alteration des dépôts superficiels par l'infiltration des eaux météoriques. Bruxelles 1881.

2) C. FRIEDEL, Beiträge zur Kenntniss des Klimas und der Krankheiten Ostasiens. 1863. S. 127.

in diesem Jahrhundert eine bedeutende Reduction ihrer Dimensionen erwarten kann.“ In den, im Jahre 1842 noch, nur mit Meissel und Sprengmaterial zu behandelnden Wänden eines frischen Durchstichs durch eine solche harte Granitbergkette konnte man um das Jahr 1860 8—10“ tief mit einem Stocke hineinbohren, bis man in der Tiefe auf das noch unzersetzte harte Gestein traf. „Je mehr aber die Bergspitzen abgewaschen werden, desto mehr gewinnen die Thäler und ihre terrassirten Felder, auf denen die vom Regen geschlammten Verwitterungsprodukte der Gipfel sich in immer neuen und bekanntlich sehr fruchtbaren Schichten absetzen. So entstehen allmählich auf Kosten der Gipfel und Höhen gleichförmige, reiche Alluvialebenen und in diesen nicht selten Malariaherde. Man hat es vielfach leugnen wollen, dass verwitternder Granit eine Quelle von Malaria sei; aber man hat sich mehr an das Wort als an den Sinn gehalten. Der Granit selber ist freilich nicht die Ursache, wohl aber die Thäler und Schluchten, auf deren Sohle der ausgeschwemmte Detritus abgelagert ist.“

Bei dieser Gelegenheit sei auch eines weiteren Gesichtspunktes gedacht, der uns die Verwitterung als eine hygienisch bedeutsame Veränderung des Bodens erscheinen lässt. Die Ungleichmässigkeit in dem Ablaufe dieser Erscheinung erstreckt sich nicht blos auf die grössere oder geringere Schnelligkeit des Zerfalls, sondern auch auf die Art des Zerfalls.

Wir führen als Beispiel für diese Unterschiede die Resultate einer experimentellen Untersuchung von HILGER<sup>1)</sup> an. Er experimentirte mit: 1. Stubensandstein aus der Umgebung von Erlangen (in Stücken von 10—20 Mm. Durchmesser); 2. Personatussandstein aus dem fränkischen Jura, (dasselbe Korn); 3. Jurakalk von Hetzlas (in Stücken von 4½ bis 6½ Mm.); 4. Glimmerschiefer von Munzig bei Meissen, (dasselbe Korn).

Nachdem die meteorologischen Einflüsse durch 3 Jahre eingewirkt hatten, zeigte der Zerfall folgende Grade:

Material	Weisser Stubensandstein	Personatus- Sandstein	Weisser Jurakalk	Glimmer- Schiefer
Ursprüngliches Korn .	34,2 %	46,4 %	96,6 %	51,5 %
Grobsand (entsprechend den Rückständen des Siebes 2 u. 3 d. KNOF'- schen Siebsatzes, S. 34)	18,3 (25,6)	22,6 (46,8)	3,3 (89,4)	39,6 (82,5)
Feinsand . . . . .	53,8 (75)	1,27 (2,6)	0,16 (4,3)	7,27 (15,1)
Feinerde . . . . .	— (0)	24,4 (50,5)	0,23 (6,2)	1,1 (2,3)

1) A. HILGER, Landwirthschaftliche Jahrbücher. VIII. 1879. — Jahresbericht der Agriculturchemie. 1879.



Nicht blos, dass die Extreme dieser Beobachtungen zwischen 3,4 und 65,8 % zerstörten Materials schwanken, sehen wir auch eine bedeutende Verschiedenheit in der Beschaffenheit der gebildeten Produkte. Es wird dies besonders dann ersichtlich, wenn wir die in Parenthese beigetzten Zahlen berücksichtigen, die das Procentverhältniss der verschiedenartigen Zerfallsprodukte zu der Gesamtmenge der Zerfallsprodukte angeben. Da sehen wir denn, dass beim Personatussandstein das feinste Korn überwiegt (50,5 % der Zerfallsmasse), während beim weissen Jurakalk, wo auch der Zerfall am langsamsten vor sich geht, der Grobsand das grösste Contingent stellt. Abgesehen nun von der Wichtigkeit dieser Vorgänge für die Fragen der Permeabilität für Luft und Wasser, der Wärmecapacität u. s. w. (Cap. III), die, wie wir später sehen werden, von der Grösse des Kornes beeinflusst werden, kommen sie besonders in Betracht bei der Frage der Staubbildung. Die Bildung des Staubes resp. der Transport desselben durch die Luft hängt, soweit das Material an und für sich hierfür in Betracht kommt, von der Grösse der Partikelchen, dann aber auch von der Beschaffenheit, den physikalischen und chemischen Eigenschaften derselben ab. Muss ja auch z. B. das specifische Gewicht des Materials auf die grössere oder geringere Fähigkeit, von der Luft transportirt zu werden, von Einfluss sein. Es hat diese Frage ihre besondere Wichtigkeit; denn durch den Staub kann der Boden in directe Beziehung zu unserem Organismus gelangen; indem der Staub sich der Luft beimengt, gelangt er auf die Haut, die Schleimhäute und besonders in die Athmungsorgane. Wenn wir nun auch für gewöhnlich bei den Inhalationskrankheiten nicht gerade an den Staub, der vom Boden stammt, denken, so ist doch wieder zu beachten, dass mit dem Staube Theile von jenen Stoffen in die Luft gelangen, die als Bodenverunreinigung von grosser hygienischer Bedeutung sind. Die meist in einem flüssigen Medium suspendirten, niederen Organismen, Fäulniss- und wohl auch Krankheitsorganismen, die auf und in den Boden gelangen, trocknen ein, die Bodenoberfläche oder die Bodenbestandtheile einhüllend, um schliesslich, nachdem die Bodenconstituenten jene oben geschilderte Metamorphose der Verwitterung durchgemacht haben, mit den feinsten Partikelchen in die Luft und mit dieser an die Menschen zu gelangen.

b) Veränderung durch die Lebensthätigkeit des Menschen.

Die oberste Schichte der Erdkruste, die Rindenlage, die theils aus grösseren und kleineren Steintrümmern, dem Fels- oder Steinschutt, theils aus krümeligen oder staubkörnigen Massen, dem so-



genannten Erdboden, besteht, ist aus der Zerstörung und Zersetzung der Felsarten entstanden. Diese Zerstörung führt schliesslich zur Bildung der Erdkrume, jener pulverigen oder krümeligen Substanz, welche bei vollständiger Verwitterung von kieselsauren Mineralien als letzter, nicht weiter durch Verwitterungsagentien zersetzbarer Rest übrig bleibt und die in den meisten Fällen mit humusartigen Substanzen untermischt ist. So lange wir es noch mit einem Boden zu thun haben, der auf natürlichem Wege, nur durch die Wirkung äusserer, ausserhalb der Menschen liegender Kräfte entstanden ist, mit einem vom Menschen noch nicht aufgewühlten, nicht bearbeiteten Boden, der noch durch keine äussere, künstliche Gewalt aus seinem ursprünglichen Zusammenhang gebracht ist, nennen wir ihn einen gewachsenen Boden. Die Bodenoberfläche erleidet aber noch immer wichtige Veränderungen, die durch die Lebewesen auf derselben hervorgebracht werden, durch die Bewohnung, Cultur, Bebauung derselben, durch Anfüllung mit den Producten menschlichen und thierischen Stoffwechsels, mit den Abfällen des menschlichen Haushalts, der Gewerbe und Fabriken u. s. w., so dass im Lauf der Jahrzehnte und Jahrhunderte mächtige Schichten eigenartigen und oft hygienisch nicht unbedenklichen Charakters entstehen können. SCHLIEMANN <sup>1)</sup> musste in seinen Ausgrabungen auf dem Plateau von Hissarlik in der Troas erst eine Schichte von 16 Mt. durchdringen, bis er auf den eigentlichen Urboden der Troade gelangte und stiess dabei auf Lagen, Straten, die nach den in denselben gemachten Funden als Residua verschiedener Generationen und Bevölkerungen sich unterscheiden. Auf das Stratum der obersten, griechischen Stadt Ilion, von der Oberfläche bis 2 Mt. Tiefe, folgten hintereinander die Straten von sechs verschiedenen Städten oder Ortschaften, von denen jede folgende auf den von Schutt bedeckten Trümmern der früheren entstanden war. In Wien findet sich nach SÜSS <sup>2)</sup> bis zu 30 und 34 Fuss und noch tiefer an einzelnen Orten ein unregelmässiger Wechsel von Lehm, Sand und Geschieben, die in den meisten Fällen mit Ziegelfragmenten gemengt sind, mit Stücken von Bruchsteinen, Scherben von irdenen Gefässen, Glassplintern, oft mit zahlreichen Gebeinen von Menschen und Hausthieren, mit Münzen, Waffen u. s. w., Anhäufungen, die mit dem Worte Schutt, in neuerer Zeit auch mit dem Ausdrücke Füllboden bezeichnet werden. Der Boden der Veste Marienberg <sup>3)</sup> bei Würzburg erscheint auf den ersten Blick als

1) H. SCHLIEMANN, Ilios, Stadt und Land der Trojaner. 1880.

2) E. SÜSS, Der Boden der Stadt Wien. S. 89.

3) A. WELZ, Typhus auf der Veste Marienberg. Münchener ärztl. Intelligbl. 1878.

solide Felsmasse, doch bei genauerer Untersuchung und an der Hand geschichtlicher Aufzeichnungen lässt sich nachweisen, dass der ursprüngliche Bergkegel im Laufe der Zeit planirt und aufgeschüttet wurde; besonders nach dem 30jährigen Kriege, zu welcher Zeit bis zu 24 Fuss dicke Mauern aufgeführt und die Lücken hinter denselben mit Schutt und dem aus den Gräben ausgehobenen Boden ausgefüllt wurden. Diese Aufschüttungen können innerhalb einer und derselben Gegend, sowohl nach ihrer Mächtigkeit als auch nach ihrer Beschaffenheit bedeutenden Schwankungen unterworfen sein; so nimmt nach LIÉVIN<sup>1)</sup> in Danzig, genau wie die Entstehung der einzelnen Strassen in der Zeit sich folgte, die Beschaffenheit der Aufschüttungen, welche in dem Sumpfboden der Erbauung der Häuser voranging, an Güte und Mächtigkeit ab. Die der Zeit nach am frühesten entstandenen Strassen zeigen z. Th. bis zu einer Tiefe von 4,5 Met. eine vortreffliche Aufschüttung von ursprünglich reinem Sande; in den später angelegten Strassen wird der Sand mehr und mehr mit Schutt und Erde versetzt, letztere wird immer unreiner, bis schliesslich in einer der jüngeren Gassen (in der Tobiasgasse) die Aufschüttung nur noch aus höchst schmutziger, mooriger Erde mit animalischen und vegetabilischen Resten besteht. Etwas Aehnliches wurde von COLDING und THOMSEN aus Anlass der Choleraepidemie 1853 in Kopenhagen constatirt. Es ist einleuchtend, dass derartige künstliche Bodenbildungen mit der Zeit scheinbar den Charakter des gewachsenen Bodens annehmen.

Die Beschaffenheit dieses Füllbodens ist bei der Wahl eines Bauplatzes besonders zu berücksichtigen und genau zu untersuchen, auch auf den Gehalt an menschlichen und thierischen Abfallstoffen; doch müssen wir bei der Beurtheilung eines derartigen Bodens im Allgemeinen uns gegenwärtig halten, wie lange derartige Aufschüttungen bestehen; wie später gezeigt werden soll, können die aus einer solchen ungeeigneten Bodenaufschüttung resultirenden hygienischen Nachtheile unter günstigen Bedingungen mit der Länge des Bestehens allmählich abnehmen.

---

### DRITTES CAPITEL.

## Beziehungen der Bodenbestandtheile zur Luft und zum Wasser.

### I. Porosität.

Entsprechend den in der Einleitung gekennzeichneten Gesichtspunkten, die vor Allem auf das Eindringen von Stoffen und

---

1) LIÉVIN, Ueber die Sterblichkeit in Danzig in den Jahren 1863—1879.

Körpern in den Boden und auf ihr Austreten aus demselben gerichtet sind, muss die Porosität des Bodens eine eingehende Würdigung finden, da in ihr für diese Vorkommnisse eine wesentliche Bedingung gelegen ist. Freilich werden wir mit dem rein physikalischen Begriffe dieser Eigenschaft kaum unser Auskommen finden. In diesem Sinne ist sie ja die Eigenthümlichkeit aller Körper, kein stetig erfülltes Ganze zu bilden, sondern eine Menge Poren oder Lücken zu enthalten, die durch das zufällige Resultat einer unvollkommenen Vereinigung vorher gebildeter Körner entstanden sind.<sup>1)</sup> Das Eindringen der Farbe in marmorne Farbenreiber, das Entweichen von Bitumen aus dichtem Feuerstein und ähnliche Thatsachen sprechen dafür, und es könnte demnach von einem nicht porösen Boden gar nicht die Rede sein.<sup>2)</sup>

Wenn nun dennoch in der Bodenlehre sowohl vom agriculturphysikalischen, als auch vom hygienischen Standpunkte aus der poröse Boden dem nicht porösen Boden gegenüber gestellt wird, so geschieht dies mit dem stillschweigenden Uebereinkommen, dass man jene Körper, bei denen das Volumen der einzelnen Poren ein derartig kleines wird, dass ein Austausch zwischen den sie erfüllenden Stoffen und denen der Umgebung bei einer gewissen Dicke des Körpers unmöglich ist, wie z. B. bei Glas-, Metall- und Steinplatten, die ja zu luft- und wasserdichten Abschluss von Räumen verwendet werden, einfach als aporös ansieht.

Von diesem Standpunkte hätten wir in der petrographischen Charakteristik des Bodens auch gleich einen Anhaltspunkt für die Porosität; als aporös hätten im Allgemeinen die Massengesteine und nicht kla-

1) MOUSSON, Die Physik auf Grundlage der Erfahrung. 1871.

2) Die Wasserabnahme, welche die sogenannten Enhydros, die Wasser einschliessenden Chalcedonmandeln von Uruguay, mit der Zeit erleiden (KNOP, GÜMBEL), dürfte nicht als Folge der Porosität aufzufassen sein. Diese Enhydros gehören zu den sogenannten Achatmandeln, welche mehr oder weniger dicke Ueberwindungen oder Schalenbildungen und Ausfüllungen von Blasenräumen eruptiver Gesteine aus verschiedenen Varietäten von Quarz, sogenannten Chalcedon und Achat darstellen. Dieser übrig gebliebene Hohlraum ist nun mit einer Flüssigkeit und in der Regel mit einer Gasblase erfüllt. Im Laufe der Zeit verdunstet dieses eingeschlossene Wasser. In den Versuchen KNOP's waren innerhalb 42 Tagen 0,0230 Grm. Flüssigkeit verdunstet. In den bei erhöhter Temperatur (80—90°) angestellten Versuchen GÜMBEL's waren in 100 Tagen 1,3423 Grm. verdunstet. Ganz entsprechend nehmen diese Steine durch Einlegen in Wasser wieder Flüssigkeit auf. Nach den Untersuchungen GÜMBEL's (Sitzungsberichte der mathem.-physikal. Classe d. k. bayr. Acad. d. Wissenschaften 1881) handelt es sich hier um feine Kanäle, noch nicht völlig geschlossene Infiltrationspunkte etc., durch welche eine Communication mit der äusseren Luft, also eine Verdunstung möglich ist.



stischen Schichtgesteine zu gelten. Dagegen müssten die aus klastischen Schichtgesteinen aufgebauten Bodenarten zu den porösen gezählt werden. Eine exquisite Porosität werden alle Arten Trümmergesteine zeigen, besonders wenn die sie zusammensetzenden Trümmer lose aneinandergereiht, nicht durch Caement verkittet sind.

Es ist jedoch auf einen Umstand zu achten, der, wenn bei der Beurtheilung der Bodenporosität vernachlässigt wird, zu vollkommen falschen Schlüssen führen kann. Die Petrographie lehrt uns, dass das die Erdrinde zusammensetzende Material, die Gesteine, Fels- oder Gebirgsarten entweder als feste Massen, als erhärtete Gebirgsarten, Felsen, oder als lockere und lose Anhäufungen sich darbieten. In letzterem Falle wird nun das Resultat unserer Untersuchungen ein ganz verschiedenes, je nachdem wir die einzelnen Fragmente dieser Anhäufungen auf ihre Porosität hin ansehen oder aber diese Anhäufungen als Ganzes auffassen, welche Auffassung gerade in hygienischer Beziehung meistens ihre Geltung hat. Es kann ein Boden aus ganz compacten, aporösen Gesteinen zusammengesetzt sein; als Ganzes ist er jedoch, da diese Fragmente lose nebeneinander liegen, im hohen Grade porös.

Es genügt also keineswegs bloß die Angabe der einen Boden zusammensetzenden Gesteinsart, um darnach die Porosität zu beurtheilen: ein weiteres unbedingtes Erforderniss ist auch die Kenntniss der Struktur, der Lagerung und Verbindung der einzelnen Elemente. Die einzelnen Bestandtheile eines Bodens können — mit dem oben ausgesprochenen Vorbehalte — in unserem Sinne vollkommen aporös sein, wenn sie z. B. aus Granit, Porphyr u. s. w. bestehen; sind dieselben jedoch in grösseren oder kleineren Partikeln, also als Trümmergesteine (Gesteinsgries, Gerölle, Geschiebe, Kies, Schotter, Sand) vorhanden und vielleicht nicht einmal verkittet, dann ist der Boden im Ganzen doch als durchaus porös zu betrachten, indem zwischen seinen einzelnen, wenn auch dichten Bestandtheilen sich massenhaft Hohlräume befinden. So kann auch eine und dieselbe Bodenart je nach dem Zustande, in dem sie gefunden wird, nach den Veränderungen, die sie erlitten hat (z. B. durch Verwitterung, durch Bearbeitung von Seiten der Menschen u. s. w.), nach Ort und Zeit verschieden, bald porös bald nicht porös erscheinen.

Ebenso darf aber auch das Vorkommen einer Gesteinsart in zusammenhängenden, mächtigen Lagern, in Form weitausgedehnter, ununterbrochener Felsmassen nicht zu dem Schlusse verleiten, dass es sich hier um einen compacten, aporösen Boden handelt. Es wurde schon hervorgehoben, dass die klastischen Schichtgesteine im



Allgemeinen zu den porösen gezählt werden müssen. Die Verbindung der einzelnen Trümmer durch den Caement ist selten eine so innige, dass nicht reichlich Lücken vorhanden blieben und der Caement selbst besteht vielfach aus einem porösen Material. Diese Gesteinsarten können in Form mächtiger, zusammenhängender Felsmassen auftreten, wie z. B. die Sandsteine, die Nagelfluh in der Schweiz (Rigi), in Bayern, u. s. w., und dadurch eine homogene, aporöse Beschaffenheit vortäuschen. Der Boden von Malta, mit Rücksicht auf die Verbreitungsweise der Cholera lange ein interessantes Streitobject, dem Ansehen nach homogener Felsboden, wurde lange Zeit zu den dichten, compacten, aporösen Bodenarten gezählt, bis die nähere Untersuchung durch PETTENKOFER erwies<sup>1)</sup>, dass es sich hier um einen weichen, porösen Sandstein handelt, dessen Porosität so gross ist, dass die Summe der Hohlräume 28—33% des gesammten Bodenvolumens ausmacht, dessen Härte und Festigkeit so gering ist, dass er, anstatt mit dem Meissel, mit der Säge und dem Messer bearbeitet werden kann und dessen Poren so durchgängig sind für Wasser, dass aus diesem Material eigene, trichterartige Behälter gefertigt werden, die als Filter bei der englischen Marine verwendet werden. Ähnliches gilt vom Karstgebirge, das gleichfalls scheinbar als compacter Felsen auftritt und als solcher in der Choleraätiologie eine Rolle spielte<sup>2)</sup>. Hier haben wir es vielfach mit einem Kalkstein zu thun, der eine wahrhaft überraschende Porosität zeigt, so dass das Wasser allenthalben durch den Boden hindurchsickert. Es genügt z. B., eine Vertiefung in den Felsen zu graben oder zu hauen, um auf diese Weise eine sog. Schwind- oder Versitzgrube anzulegen, in welche aller flüssiger Inhalt durch die Bodenporen hindurchsickert, sodass nur der feste Rückstand übrigbleibt. Tiefe Mulden des Terrains, sog. Trichter, „Dolinen“, die ihrer Lage nach, als End- oder Zielpunkt der Wasserbewegung, das Drainagewasser von einem bedeutenden Umkreis empfangen, finden sich trotz starker Niederschläge frei von Wasser, da dieser Felsboden das Wasser ebenso rasch oder noch rascher hindurchfliessen lässt, als ein Geröllboden.

Endlich ist stets bei der Würdigung eines Felsbodens vom hygienischen Standpunkte aus zu berücksichtigen, ob nicht Spalten und Klüfte in grösserer Menge vorhanden sind, die dann oft mit einem vom Felsboden ganz wesentlich verschiedenen, porösen Material ausgefüllt sind.

1) PETTENKOFER, Die Choleraepidemie auf Malta und Gozzo. Ztschr. f. Biol. VI.

2) PETTENKOFER, Die Cholera und die Bodenbeschaffenheit in der k. k. österr. Provinz Krain. Aerztliches Intelligenzblatt. München 1861.

Alle hier angeführten Thatsachen führen zu dem Resultate, dass wir in dieser Frage unser Urtheil weder auf allgemeine geognostische Angaben, noch auf Configuration, auf äussere Contouren u. dgl. bauen dürfen, sondern dass es stets auf einer detaillirten Untersuchung an Ort und Stelle basiren muss.

Wir finden uns aber noch nach einer zweiten Richtung gedrängt, nach der der quantitativen Betrachtung. Diesen Weg hat schon DELESSE<sup>1)</sup> im Jahre 1860 betreten. Seine Versuche können als Beispiele für die von uns oben aufgestellten Behauptungen dienen bezüglich der Unterscheidung zwischen porösem und compactem Boden (sowie bezüglich der Thatsache, dass ein sonst compacter Boden durch Bearbeitung, Zerkleinerung, zu einem sehr porösen werden kann). DELESSE untersuchte Fragmente von Steinen auf ihre Porosität, indem er sie in heisses, destillirtes Wasser eintauchte, sodann sorgfältig abtrocknete und die Gewichtszunahme bestimmte. Er ging von der Ansicht aus, dass diese Gewichtszunahme dadurch zu Stande komme, dass das Wasser in den Poren zurückgehalten werde, nachdem es die in denselben eingeschlossene Luft verdrängt.

Die so erhaltene Gewichtszunahme betrug bei:

Granit . . . . .	0,06—0,12 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,
Marmor (grau, sehr compact) . . . . .	0,08 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,
Thonschiefer . . . . .	0,19 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,
Retinit . . . . .	0,20 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,
Sandstein (Pflasterstein) . . . . .	0,66—13,15 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,
Phonolit . . . . .	1,45 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,
Gyps (gelblich, körnig, krystallinisch) . . . . .	2,20 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,
Basalt . . . . .	3,03 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,
Dolomit (halbkrySTALLINISCH) . . . . .	3,29 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,
Trachyt . . . . .	3,70 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,
Oolit . . . . .	6,94—7,33 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,
Kalkstein . . . . .	9,67—21,10 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,
Kreide . . . . .	24,1 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,
Meerschäum . . . . .	91,15 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> .

Nach dem, was vorausgeschickt wurde, werden wir die vier ersten Bodenarten dort, wo sie als Massengesteine in Form von ununterbrochenen Felsen auftreten, als compacte, aporöse ansehen. Dieses Verhältniss ändert sich aber sofort, sowie der Boden, sei es durch die Einflüsse der Witterung, sei es durch Einwirkung von Wasser, Eis, Gletschern, in grösseren oder kleineren Körnern und Trüm-

1) M. DELESSE, Recherches de l'azote et des matières organiques dans l'écorce terrestre. Annales des mines. 1860 und Recherches sur l'eau dans l'intérieur de la terre. Bulletin de la société géologique de France. 1861/62. p. 64.

mern uns vorliegt; Granit, der als compactes Fragment 0,06 Gewichtsprocent Wasser aufnimmt, imbibirte sich als Pulver mit 27 % um 450 mal so viel (vgl. dieses Capitel Abschnitt V).

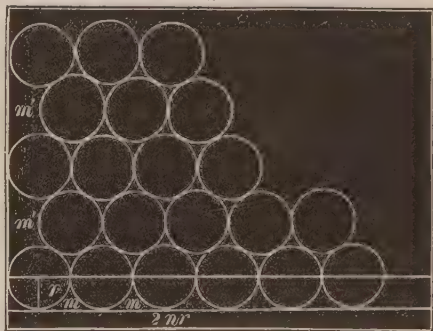
Von Wichtigkeit wäre es nun, die Gesamtporenmenge, das Verhältniss der Gesamtmenge der vorhandenen Poren zum Gesamtvolumen des Bodens, von RENK<sup>1)</sup> Porenvolumen genannt, stets feststellen oder annähernd berechnen zu können. (Man bezieht hierbei die gefundenen Zahlen nicht mehr auf das Bodengewicht, sondern auf das Bodenvolumen, wodurch man übersichtlichere Verhältnisse gewinnt, da auf diese Weise die durch das wechselnde specifische Gewicht hervorgerufenen Differenzen vermieden werden.)

Es lassen sich nun gewisse, allgemeine Gesetze über das Verhältniss zwischen Porenvolumen und Bodenvolumen auf theoretischem Wege feststellen, wenn man von der Voraussetzung ausgeht, dass man es mit einem einfachen, homogenen Bodenmaterial zu thun hat.

LANG<sup>2)</sup> und FLÜGGE<sup>3)</sup> haben für den einfachsten Fall, dass es sich um Bodenelemente von vollständiger Kugelform und gleicher Grösse handelt, die Grenzen festgestellt, innerhalb deren das Porenvolumen im Verhältniss zum Bodenvolumen zu schwanken vermag. Diese Grenzen sind nach ihren beiden Extremen gegeben durch zwei Arten der Lagerung, welche die Kugeln gegeneinander einnehmen können, von denen die eine als die dichteste, die andere als die lockerste unterschieden werden kann.

In dem einen Falle, dem der dichtesten Lagerung (Fig. 1), ruht eine jede Kugel in dem Zwischenraume zwischen den benachbarten Kugeln derart, dass eine Ebene durch die Mittelpunkte dreier sich berührender Kugeln gelegt, den Hohlraum in einem Dreieck schneidet, welches von drei gleichen Kreisbogen (von  $60^\circ$ ) gebildet wird. Ein Querschnitt, derart geführt, dass er das grösste Dreieck trifft, hat einen Umfang, dessen Grösse durch die

Fig. 1.



1) F. RENK, Ueber die Permeabilität des Bodens für Luft. Zeitschrift für Biologie. XV.

2) C. LANG, Ueber Wärmecapazität der Bodenconstituenten. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. I.

3) C. FLÜGGE, Beiträge zur Hygiene. Leipzig 1879.





Das Procentverhältniss dieser Porensomme zum ganzen Volumen ist dann (Gleichung 3 zu 1):

$$x : 100 = \frac{4n^3r^3}{9\sqrt{2}} (6 - \pi\sqrt{2}) : \frac{8n^3r^3}{3\sqrt{2}} \text{ oder}$$

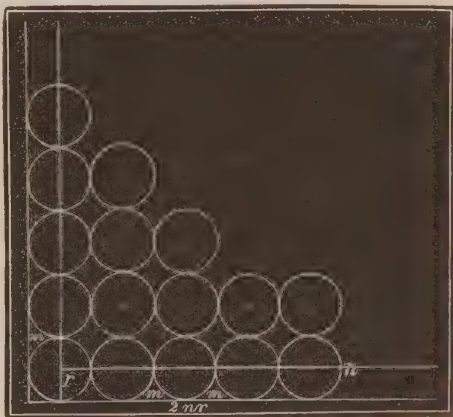
$$x = 100 \cdot \frac{4 \cdot n^3r^3}{9\sqrt{2}} (6 - \pi\sqrt{2}) \cdot \frac{3\sqrt{2}}{8n^3r^3} = \frac{100}{6} (6 - \pi\sqrt{2}) = 25,95 \% \quad 4.$$

Bei möglichst dichter Lagerung gleichartiger kugelförmiger Elemente beträgt also das Porenvolumen 26% des Gesamtvolumens. Hierauf ist der Radius der Kugeln ohne Einfluss, da wir sehen, dass er in der Formel 4 eliminirt wird. Diese Zahl 26 repräsentirt uns also jenes Minimum an Porenvolum, das bei gleichartigen, regelmässigen, kugelförmigen Bodenconstituenten und bei dichtester Anordnung zu erreichen ist.

Im zweiten Falle, dem der lockersten Lagerung oder Aufschichtung (Fig. 2), sind die Kugeln derart gelagert, dass die in den Berührungspunkten der Kugeln errichteten Tangentialebenen sämmtlich aufeinander senkrecht stehen (während sie sich im ersten Falle unter einem Winkel von  $60^\circ$  schneiden). Eine Ebene, durch die Mittelpunkte von vier sich berührenden Kugeln gelegt, schneidet den Hohlraum in einem Viereck, das von vier gleichen Kreisbogen (von  $90^\circ$ ) gebildet wird, der Umfang ist durch die Formel  $2\pi r$ , der Flächeninhalt durch die Formel  $r^2(4 - \pi)$  ausgedrückt. Denken wir uns in Fig. 2 auf vier sich berührende Kugeln noch weitere vier Kugeln gelegt, so können die Mittelpunkte dieser acht Kugeln als die Eckpunkte eines Würfels von der Kante  $2r$  angesehen werden. Die Berührungspunkte fallen mit den Halbirungspunkten der Würfelkanten zusammen, und man kann sagen, dass der von den acht Kugeln eingeschlossene Hohlraum jener Theil des Würfels ist, der von den Kugeln übrig gelassen wird.

Bei einer derartigen Anordnung bilden die Kugeln zusammen einen Würfel, der als Basis ein Quadrat besitzt, mit der Seite  $2nr$ ,

Fig. 2.





Porenvolumen der grösseren Partikel repräsentirt. Ist dieses Verhältniss gerade erreicht und die kleineren Kugeln sämmtlich, mit dichtester Lagerung, in die Hohlräume der grösseren Kugeln eingelagert, so lässt sich wieder das Porenvolumen rechnerisch bestimmen. Das Volumen der Poren zwischen den kleineren Kugeln beträgt natürlich wieder 26 %, aber nicht mehr des Gesamtvolumens der Pyramide resp. des Würfels, sondern nur jenes Theils, der mit den kleineren Kugeln ausgefüllt ist und dem ersten Porenvolumen entspricht. Dieses Volumen ist, das Volumen der ursprünglichen Pyramide gleich 100 gesetzt, nur noch 26; das Porenvolumen der nunmehr eingefügten Pyramide beträgt in %  $\cdot \frac{26}{100} \cdot 26 = \frac{26^2}{100} = 6,76$ .

Wiederholt sich dieser Vorgang mit Kugeln noch kleinerer Dimensionen, so erhalten wir als Porenvolumen  $\frac{26^2 \cdot 26}{100 \cdot 100} = \frac{26^3}{(100)^2} = 1,76\%$  u. s. w. in geometrisch fortschreitender Abnahme.

Anderseits wird es aber bei der Unregelmässigkeit der Partikel nicht leicht möglich sein, dieselben derart dicht aneinander zu lagern, dass diese Anordnung der oben erwähnten möglichst dichten Lagerung der Kugeln entspricht. Als relativ sicherstes Mittel fand FLÜGGE (l. c.) für seine Versuche das durch längere Zeit fortgesetzte Einschlämmen mit Wasser. Er erhielt bei seinen Bestimmungen je nach dem Material und der Art der Einfüllung folgende Schwankungen in den Resultaten:

Material	Porenvolumen in %
Kies . . . . .	38,4—40,1
Sand . . . . .	35,6—40,8
Lehm . . . . .	36,2—42,5
Kies und Sand zu gleichen Theilen . .	23,1—28,9.

Es kann nicht unsere Aufgabe sein, hier alle bisher bekannten Versuchsergebnisse über das Porenvolumen verschiedener Bodenarten, wie sie an meistentheils künstlich eingefüllten Bodenarten gewonnen wurden, zu besprechen; sie lassen doch nur eine Anwendung auf den speciellen Fall zu und können nur schwer allgemeinere Bedeutung gewinnen.<sup>1)</sup>

Es ist jedoch noch ein Umstand zu berücksichtigen, der die Veranlassung abzugeben vermag, dass das gefundene Porenvolumen

1) Vgl. die S. 7 citirten Lehr- und Handbücher der Agriculturphysik und -Chemie, ferner die Arbeiten von JOHN in: Die Regenverhältnisse Deutschlands von G. v. MÖLLENDORFF. Görlitz 1862, von FLECK in den Jahresberichten d. chemischen Centralstelle für öffentliche Gesundheitspflege in Dresden.

mit dem berechneten nicht übereinstimmt. Die Berechnung setzt nämlich voraus, dass das Material in den einzelnen Fragmenten, in den sich aneinander lagernden Stücken wenigstens als aporös zu betrachten sei; dies ist aber nicht immer der Fall. Es hat z. B. für Kies, Quarzsand seine Geltung. Nicht mehr vollständig für Kalksand, noch weniger aber für Lehm und die Bröckeln der Dammerde, für Torf u. s. w. Die experimentellen Resultate werden dann dem berechneten um so näher kommen, je feinkörniger das Material zur Anwendung kommt, weil dann die Zahl der durch Anlagerung entstehenden Poren gegenüber der in dem Material als solchen enthaltenen Poren eine immer grössere wird und gewissermaassen viele ursprünglich als Poren des Kornes vorhanden gewesene Hohlräume sich in die durch Contact hergestellten umgewandelt haben. Deshalb finden wir auch in den von WOLFF<sup>1)</sup> ermittelten Daten für das Porenvolumen, gewonnen durch Bestimmung des specifischen Gewichts bei fein gepulverten Bodenarten, keine zu grossen Abweichungen.

Boden	Porenvolumen in % des Bodenvol.
Schwarzer, humöser, kalkiger Lehmsandboden . . .	56,8 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
Sehr feinkörniger, sandiglehmiger Boden . . .	55,3 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
Boden mit ziemlich viel thoniger Substanz . . .	48,1 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
Sehr thoniger Boden . . . . .	46,4 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> .

Der in der Natur vorkommende Boden, dessen Beschaffenheit zu untersuchen oft Aufgabe des Hygienikers ist, präsentirt sich diesen Untersuchungen gegenüber in einer etwas anderen Form als der den bisherigen erörterten Experimenten und Berechnungen zu Grunde liegende. Der sog. gewachsene, d. h. bisher durch keine äussere künstliche Gewalt aus seinem ursprünglichen Zusammenhang gebrachte Boden (S. 21) besteht in den seltensten Fällen aus einem völlig gleichartigen Material; meist sind es Conglomerate verschiedener Form, Grösse und auch verschieden chemischer, resp. mineralogischer Beschaffenheit, untermengt mit den Zersetzungsproducten der Verwitterung. Dadurch wird wohl meistens eine grössere Dichtigkeit erzielt werden müssen. Es wird eine bestimmte Anzahl Poren, die bei einem Material von gleicher Korngrösse unausgefüllt bleiben muss, von jenen Gesteinspartikeln, deren Volumen kleiner ist als das der vorhandenen Poren, in Beschlag genommen. Finden sich nun viele Abstufungen in der Grösse, so können allmählich fast alle grösseren Poren wieder durch Gesteinspartikeln gefüllt werden (S. 30). Wesentliche Mitwirkung gewährt hierbei der Regen, der eine Art natürlicher Einschläm-

1) E. WOLFF, Anleitung zur chemischen Untersuchung landwirthschaftlich wichtiger Stoffe. 1875.



mung bewirkt, und so wurde auch bei FLÜGGE's Versuchen durch Einschlammung die dichteste Bodenlagerung erhalten. Auch mechanische Einwirkungen, Erschütterungen, Stösse tragen dazu bei, ein festeres Gefüge herbeizuführen und an der Oberfläche kann sich sogar eine Art Cämentirung ausbilden, mit veranlasst durch die bei der Verdunstung zurückbleibenden Salze.

So werthvoll nun die Angaben über das Porenvolumen des gewachsenen Bodens wären, so fehlen wegen der noch nicht vollständig genug ausgebildeten Methoden ausgedehntere Untersuchungen. FLÜGGE <sup>1)</sup> hob mittels eines Messingcylinders, den er in den Boden eintrieb, diesen in natürlichem Zustande heraus und bestimmte sein Porenvolumen in der Weise, dass er die Luft in demselben durch Kohlensäure allmählich vollständig verdrängte. Das austretende Gasgemenge wurde über Kalilauge aufgefangen, welche sämtliche Kohlensäure absorbirte, während sich die Bodenluft in dem Auffanggefässe ansammelte und direct gemessen wurde. Er fand bei diesen in Berlin angestellten Versuchen folgende Verhältnisse:

	Porenvolumen in % des Bodenvolumens
Sandboden in 1,2 Met. Tiefe, seit circa 15 Jahren aufgeschüttet . . . . .	43,1%
Gartenerde, in 0,5 Met. Tiefe . . . . .	46,1%
Sandboden, in 1,5 Met. Tiefe, gewachsener Boden, 0,3 Met. über dem Grundwasserspiegel . . . . .	35,5%
Sandiger Lehm, gewachsener Boden, 0,5 Met. Tiefe . . . . .	32,7%.

Diese Versuche, die hauptsächlich die Anwendbarkeit der Untersuchungsmethode erweisen sollten, erheben nach FLÜGGE noch keineswegs den Anspruch darauf, ein Maass oder eine Norm für den gewachsenen Boden zu geben; dazu fehlen auch genauere Detailsangaben über die Natur und Zusammensetzung des betreffenden Bodens. Was wir daraus schliessen können, ist nur, dass die Anordnung der Bodenpartikelchen auch in diesem gewachsenen Boden eine recht lockere sein musste, da sie dem berechneten Maximum 47,6% sehr nahe kommt.

Nach einer andern Methode untersucht v. SCHWARZ <sup>2)</sup> 4 in ihrer Beschaffenheit sehr differirende Bodenarten in gewachsenem Zustande. Indem er das absolute Gewicht eines bestimmten Bodenvolumens durch das specifische dividirte, erhielt er das wahre Volumen der festen Be-

1) Beiträge zur Hygiene. S. 74.

2) R. v. SCHWARZ, Vergleichende Versuche über die physik. Eigenschaften verschied. Bodenarten. Erster Bericht über die Arbeiten der k. k. landwirthsch.-chem. Versuchsstation in Wien. 1870/71.

standtheile. Die Differenz zwischen diesem und dem ursprünglich gefundenen, gesammten Bodenvolumen ergab das Porenvolumen.

Bodenart	Porenvolumen in Volumprocent
1. Unterboden aus einem sog. Uebergangsmoor mit 82,26% organ. Substanz . . . . .	84,0
2. Sand. Alluvialsand von schneeweisser Farbe, fast ausschliesslich Quarzsand, das Korn nicht über 2 Mm. Durchmesser. (Hier kam die Methode des Einschüttelns in ein cubicirtes Gefäss zur Anwendung) . . . . .	39,4
3. Lehm. Lösslehm aus dem Wiener Walde, von hellbrauner Farbe, enthält weder Steinchen, noch organ. Reste . .	45,1
4. Thon. Diluvial, hellgrau, aus dem Wiener Wald. Organ. Reste; Steinchen und gröberer Sand fehlen ihm gänzlich	52,7.

Hier finden sich schon bedeutendere Unterschiede, die ihre Begründung wohl in dem oben angedeuteten Verhalten der Bodenconstituenten haben mögen, nach welchem die einzelnen Bodenfragmente selbst wieder porös sind. Es gilt dies wohl schon für den Thon-, ganz besonders aber für den Moorboden.

Man bedient sich schliesslich zur Beurtheilung der Porosität eines derartigen aus verschiedenartigen, besonders verschieden grossen Gesteinspartikeln zusammengesetzten Bodens der mechanischen Bodenanalyse. Diese hat die Aufgabe, durch Sieben und durch Schlämmen die einzelnen Bodenpartikel nach ihrer Grösse und zum Theil nach ihrer mineralogischen Beschaffenheit von einander zu sondern. Man erhält auf diese Weise eine genaue Kenntniss der relativen Menge der einzelnen Bestandtheile. KNOP<sup>1)</sup>, dem die Landwirtschaft die wesentlichsten Anregungen zur mechanischen Bodenanalyse verdankt, trennt die Bestandtheile der Ackererde in Feinerde und Skelett. Zu ersterer rechnet er jene Stoffe, die sich mittels Wassers durch ein Sieb feinsten Sorte (0,3 Mm. Durchmesser) hindurch auswaschen lassen. Zum Skelett zählt er: Grobkies (das Korn von der Grösse einer Erbse und darüber), Mittelkies (Grösse des Coriandersamens), Feinkies (Grösse des Rübsamens).

Die genaueren Bestimmungen dieser Grössen des sog. KNOP'schen Siebsatzes, die von A. MAYER<sup>2)</sup> vorgenommen wurden, ergaben für die Weite der Sieblöcher folgende Zahlen:

Sieb Nr. II	. .	4,2	Mm.
" " III	. .	2,7	" "
" " IV	. .	0,9	"
" " V	. .	0,3	"

1) W. KNOP, Der Kreislauf des Stoffes. Leipzig 1868. S. 473.

2) A. MAYER, Fühling's landw. Zeitung. 1875. S. 16.

Die entsprechenden Bodenarten sind nach Volumen und Benennung folgende:

Mittelkies . . . . .	2,7—4,2	mm.	Durchmesser
Feinkies . . . . .	0,9—2,7	„	„
Streusand . . . . .	0,3—0,9	„	„
Feinerde . . . . .	staubfein—0,3	„	„

Wenn man nach erfolgter Trennung der Gesteinspartikel feststellt, wie sich die einzelnen Korngrößen der Menge nach procentualisch zu einander verhalten, so erhält man bereits ein annäherndes Bild des möglichen Porenvolumens. Je mehr sich z. B. das Gesamtvolumen der nächst kleineren, also z. B. zweiten Korngröße, derjenigen Zahl nähert, die als Porenvolumen der grösseren Kornsorte berechnet oder gefunden ist, desto grösser wird die Beeinträchtigung sein, die das Porenvolumen durch Zwischenlagerung dieser kleineren Sorte erleiden kann bis zu jener Grenze, bei welcher sämtliche Poren der grösseren Kornsorte von der kleineren Kornsorte ausgefüllt sind. Ist dieses Verhältniss erreicht, so ist auch die Beeinträchtigung am grössten, ein Ueberschreiten derselben kann keine weitere Herabminderung herbeiführen, da eine Zwischenlagerung nicht mehr möglich ist. Aehnlich ist dann die dritte Kornsorte im Verhältniss zur zweiten zu betrachten u. s. f. (vgl. S. 30).

Selbstverständlich kann jedoch das Resultat derartiger Berechnungen mit dem directer Untersuchungen kaum jemals genau übereinstimmen, aus Gründen, die bereits oben dargelegt wurden.

Die Feinerde, die Summe jener Bodenkörner, deren Durchmesser unter 0,3 mm. sinkt, enthält, ähnlich wie eine natürliche Feinerde, sehr verschiedenartige Fragmente; neben grösseren Körnern von nahezu 0,3 mm. Durchmesser mannigfach kleinere Körnchen bis zum feinsten Staub herab. Und zwar ist das relative Verhältniss der einzelnen grösseren und feineren Sorten, sowie die Form derselben (ob rund, eckig, zugespitzt u. s. w.) bei verschiedenen Gesteinsarten eine verschiedene, je nach der physikalischen Constitution, der Härte, Spaltbarkeit u. s. w. Deshalb werden diese Massen, besonders von agriculturphysikalischer Seite, bezüglich ihrer Grösse noch einer weiteren physikalischen Analyse unterworfen, indem die Schlämmanalyse<sup>1)</sup> auf dieselbe angewendet wird. Es wird hierbei nach zweierlei

1) Literatur der Schlämmanalyse und der ihr dienenden Apparate: Journal f. prakt. Chemie 1849. S. 254. (SCHULTZE). — Chemischer Ackermann 1857. 141. (BENNIGSEN-FOERDER). — Zeitschrift f. analyt. Chemie. III. 85. (E. WOLFF. NÖBEL'scher Apparat). — SCHÖNE: Ueber Schlämmanalyse und einen neuen Schlämmanapparat. 1867. — Zeitschrift für analyt. Chemie XV. (DEETZ.) — Journal für Land-

Princip verfahren. Man sucht entweder die Körner durch den Fall in einer Wassersäule zu trennen, durch sog. Sedimentirapparate, indem man von der Thatsache ausgeht, dass in einer Flüssigkeit feste Körper um so langsamer niedersinken, je grösser bei gleichem specifischen Gewichte das Verhältniss der Oberfläche zur körperlichen Masse derselben, d. h. zu ihrem absoluten Gewichte ist; oder man benutzt den continuirlichen Stoss eines senkrecht von unten her wirkenden Wasserstromes im sog. Stoss- oder Spülapparate, wo die Grösse der abgeschlammten Theile in einem gewissen Verhältniss zur Wassergeschwindigkeit, der Stärke des Stosses steht. Letztere Methode gibt die genaueren Resultate an und findet immer allgemeinere Anwendung. Es kann auf diese Weise die Feinerde noch differencirt werden in Körner von 0,25, 0,1, 0,05 und 0,01 Mm. Durchmesser.

Feinste Theile	Korngrösse	Entsprechende Stromgeschwindigkeit
Thon und Mineralstaub . . . . .	bis zu 0,01 Mm. . . . .	per Sec. 0,2 Mm.
Mineralstaub . . . . .	0,05—0,01 Mm. . . . .	= " 2,0 "
Feiner Sand . . . . .	0,1—0,05 " . . . . .	= " = 7,0 "

Es haben diese abschlämbbaren Partikel deshalb auch hygienisch eine besondere Bedeutung, als sich in denselben meist die thonigen Bestandtheile vorfinden, also jene Bodenconstituenten, die, wie wir später sehen werden, die Permeabilität des Bodens für Luft und Wasser so wesentlich beeinflussen. Ausser dem Thon werden im Thon- und Lössboden nach FESCA auch noch das Eisenoxyd und die leicht löslichen Silikate mit den feinsten Theilen abgeschieden.

## II. Permeabilität des Bodens für Luft.

### A. Permeabilität des trockenen Bodens.

Von den einfachsten Verhältnissen ausgehend, dass die im Boden befindlichen Poren mit Luft gefüllt sind, haben wir ein besonderes Augenmerk jenen Bedingungen zuzuwenden, die ein Aufsteigen der Luft aus dem Boden, oder ein Eindringen, kurz ein Hindurchtreten durch denselben ermöglichen. Haben wir erst diesen allgemeinen Fall festgestellt, so wird es uns leicht, die Anwendung auf besondere Gasarten zu treffen, sowie auf etwaige, der Luft beigemengte, in derselben suspendirte körperliche Bestandtheile.

---

wirtschaft XXVII. Supplement. FESCA: Die agronomische Bodenuntersuchung. — ENDLER: Die capillare Leitung des Wassers etc. Inaug.-Dissert. Göttingen 1882. — Forschungen auf d. Gebiete der Agriculturphysik. II. 57 u. 441. (HILGARD.)



Wir bezeichnen die Fähigkeit eines Bodens, einer durch irgend welche Kräfte aus dem Gleichgewicht gebrachten Luft den Durchtritt zu gestatten mit dem Ausdruck „Permeabilität“. Da nun diese Permeabilität die Porosität des Bodens als Postulat voraussetzt, so liesse sich denken, dass sie in einer directen Beziehung zu derselben und zwar zum Porenvolumen stehe, insofern, als derjenigen Bodenart, die ein grösseres Porenvolumen besitzt, auch eine grössere Permeabilität zukommt. Dies ist jedoch nur in gewissen Fällen richtig, wenn z. B. in einer und derselben Bodenart durch Lockerung das Porenvolumen vermehrt wird.

Handelt es sich jedoch darum, verschiedene Bodenarten nach ihrer Permeabilität mit einander zu vergleichen, dann ist, abgesehen von dem später zu berücksichtigenden Einflusse des mineralischen (petrographischen) Charakters des Bodens, die Permeabilität wesentlich bedingt von der Beschaffenheit, der Grösse, Form und wechselseitigen Lagerung der einzelnen Poren, weniger von der Gesamtsumme derselben (dem Porenvolumen). Diese Eigenschaften der Poren sind aber wieder bedingt durch die Grösse, Form und Anlagerung der Bodenfragmente, der den Boden zusammensetzenden Körner. Grosse, grobe Körner geben — bei eventuell gleichbleibendem Porenvolumen — Anlass zur Bildung einer geringeren Anzahl grosser Hohlräume, während bei kleinem Korn die Anzahl der Hohlräume zwar grösser wird, die einzelnen Poren dagegen um so kleiner ausfallen. Dies geht schon daraus hervor, dass, wie wir gesehen haben, das Gesamtvolumen der Poren auch bei verschiedener Korngrösse keine grosse Verschiedenheit zeigt, während die Zahl der Poren bei gleichem Bodenvolumen mit der Menge der Partikel also mit deren Kleinheit bedeutend zunimmt. Wir gewinnen eine Vorstellung über die Bedeutung dieses Factors, wenn wir uns vor Augen führen, dass die Permeabilität, die gleiche luftbewegende Kraft vorausgesetzt, hauptsächlich beeinflusst wird durch den Widerstand, den die Luftbewegung im Boden vorfindet. Dieser Widerstand macht sich schon bei der nothwendiger Weise wiederholt eintretenden Ablenkung des Luftstromes beim Uebergang aus einem Querschnitt in den andern geltend. Je grösser die Anzahl der Poren (bei gleich bleibendem Porenvolumen), desto öfter muss die Luft von ihrem directen Wege abgelenkt werden, indem die zwischengelagerten Gesteinskörner einzelne Hohlräume, zum Theil wenigstens, abschliessen; desto öfter wird dann auch der Fall eintreten, dass die Luft aus der relativ weiteren Pore durch einen feinen Verbindungsgang in die nächste Pore gelangt, dass sie also Querschnittsverengungen auf ihrem Wege vor-

findet. Beide diese Vorgänge sind jedoch mit Verlust lebendiger Kraft verbunden. Der Reibungswiderstand ferner, den die mit einer gewissen Geschwindigkeit ( $C$ ) in den Boden eintretende Luft in demselben erfährt, ist abhängig von dem Reibungscoefficienten ( $K$ ), sodann von der Gesamtlänge ( $L$ ) der Poren, des Porencanals, und von dem Umfange ( $U$ ) und der Fläche ( $F$ ) seines lichten Querschnitts; und zwar ist er der Länge und dem Umfange direct, der Fläche des lichten Querschnitts umgekehrt proportional, und die um diesen Widerstand geminderte Luftgeschwindigkeit ( $V$ ) wird durch folgende

$$\text{Formel repräsentirt: } V = \frac{C}{\sqrt{1 + \frac{K \cdot L \cdot U}{F}}}$$

RENK fand in seinen Versuchen, bei denen er die Permeabilität gleich hoher Säulen aus Kies von verschiedener Korngrösse bestimmte, indem er Luft unter bestimmtem Drucke durchleitete, folgende Differenzen in der Permeabilität:

Material	Korngrösse Durchmesser Mm.	Poren- volumen %	Druck in Mm. Wasser	Geförderte Luftmenge, Liter in der Minute	
				absolut	relativ
1. Feinsand . . . .	unter 0,3	55,5	20	0,00233	1
2. Mittelsand . . . .	1—0,3	55,5	20	0,112	84
3. Grobsand . . . .	2—1	37,9	20	1,28	961
4. Feinkies . . . .	4—2	37,9	20	6,91	5195
5. Mittelkies . . . .	7—4	37,9	20	15,54	11684

Die analogen Resultate der Versuche WELITSCHKOWSKY's seien in folgender Tabelle zusammengestellt:

Material	Korn- grösse	Poren- volumen	Geförderte Luftmenge, Liter in der Minute		
			bei 50 Mm.	10 Mm.	5 Mm.
			Wasserdruck		
Feinsand . . . .	unter 0,3	41,87	0,0058 (1)		
Mittelsand . . . .	1—0,3	40,64	0,8990 (155)	0,187 (1)	
Grobsand . . . .	2—1	37,38	7,399 (1276)	1,628 (8,7)	
Feinkies . . . .	4—2	35,47		12,518 (67)	7,182 (1)
Mittelkies . . . .	7—4	35,93		28,493 (152)	17,470 (2,4)
Grobkies . . . .	20—7	35,24			37,880 (5,2)

1) Die Permeabilität eines und desselben Bodens resp. der Menge Luft, die durch denselben in einer bestimmten Zeiteinheit gefördert wird, gestaltet sich verschieden, je nach dem Druck, unter dem dies erfolgt; hier soll jedoch von der Erörterung dieses Factors, als eines nicht direct den Bodenbestandtheilen zukommenden, abgesehen werden; er findet seine Behandlung im dritten Abschnitt dieses Capitels: Luftbewegung im Boden.

Wir werden in diesen Zahlen keine mathematisch genaue Reihe erhalten. Sind ja doch die einzelnen Kieskörner viel zu unregelmässig und in ihrer Grösse zu schwankend. Doch wird hieraus schon ersichtlich, dass mit der Abnahme der Korngrösse die Permeabilität in ganz ausserordentlicher Weise abnimmt. Auch geht aus diesen Versuchen hervor, dass das Porenvolumen an und für sich für den Grad der Permeabilität von sehr geringem Belange ist. In Nr. 1 und 2 der Tabelle von RENK ist das Porenvolumen nur um 50 % grösser, als in 3—5 und doch ist die Permeabilität in 1 über 11,000 mal so gross als in 5.

Es lässt sich dies auch sehr einfach auf optischem Wege demonstrieren, indem man durch Bodensäulen von gleichem Querschnitt und gleicher Höhe aber verschiedenem Korn Gas durchleitet und dasselbe beim Austritt entzündet. Die Grösse resp. Helligkeit der Flamme, also die Menge des in gleicher Zeit hindurch getretenen Gases nimmt mit der Grösse des Kornes *caeteris paribus* ab<sup>1)</sup>.

Wir gewinnen einen gewissen Ueberblick über die Art und Weise, wie sich diese Verhältnisse des vermehrten Widerstandes bei verschiedenen Korngrössen gestalten, wenn wir die Maasse für die einzelnen Körner und die damit in Zusammenhang stehenden Grössen berechnen. Wir wollen hierbei von den möglichst einfachen Verhältnissen ausgehen und uns wieder die Bodenconstituenten als regelmässige bei jedem Versuche untereinander gleich grosse Kugeln vorstellen<sup>2)</sup>.

Wir werden beide Extreme der Lagerungsverhältnisse, der dichtesten und lockersten, auseinander halten müssen. In dem einen Falle werden wir dann mit einem Porenvolumen von 26 %, in dem andern von 47 % zu rechnen haben.

Denken wir uns, das Material, aus welchem der Boden zusammengesetzt ist, variire von einem Durchmesser von 0,005 Mm. bis zu 10 Mm. und stellen wir zuvörderst die Zahl der Körner fest, da von dieser die Zahl der Poren und damit auch die Häufigkeit der Wegablenkung abhängt. Je kleiner die einzelnen Bodenpartikel, desto grösser ist die Anzahl derselben in einem und demselben Bodenvolumen, und desto grösser wird auch die Zahl der Poren, die von diesen Körnern umschlossen werden.

Das Verhältniss nun, in welchem die Zahl der Bodenkörner, also auch der Poren, mit der Abnahme des Körnerhalbmessers zunimmt, lässt sich leicht berechnen:

Nehmen wir zwei Radien,  $r$  und  $r_1$ , so ist das Volumen dieser beiden Körner  $\frac{4}{3}\pi r^3$  und  $\frac{4}{3}\pi r_1^3$ ; bei einem und demselben Volumen  $V$  des Bodens, wobei  $V$  das wahre Bodenvolumen nach Abzug der Poren re-

1) SOYKA, Ueber eine Methode, die Permeabilität des Bodens für Luft optisch zu demonstrieren. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. IV.

2) SOYKA, Beobachtungen über die Porositätsverhältnisse des Bodens. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. VII.

präsentirt, haben wir in dem einen Falle, die Anzahl der Körner gleich  $N$  gesetzt:

$$N = \frac{V}{\frac{4}{3} \pi r^3}.$$

In dem anderen Falle:

$$N_1 = \frac{V}{\frac{4}{3} \pi r_1^3}.$$

Es verhalten sich also die Summen der Körner

$$N : N_1 = \frac{V}{\frac{4}{3} \pi r^3} : \frac{V}{\frac{4}{3} \pi r_1^3}, \text{ und abgekürzt}$$

$$N : N_1 = \frac{1}{r^3} : \frac{1}{r_1^3} \text{ oder } N : N_1 = r_1^3 : r^3.$$

Die Zahl der Poren steht also im umgekehrten Verhältniss zu den dritten Potenzen der Halbmesser, und wächst mit abnehmender Korngrösse äusserst schnell, wie diese Tabelle demonstriert:

Halbmesser des Kornes in Mm.	Kornvolumen $\frac{4}{3} \pi r^3$ in Cmm.	Kornzahl in einem Liter		
		bei dichter Lagerung	bei lockerer Lagerung	relative Zahl
0,005	0,00000052	1413295,000000	1000766,000000	$8000000,000 = \frac{1}{(0,005)^3}$
0,010	0,00000419	176661,900000	125097,000000	$1000000,000 = \frac{1}{(0,01)^3}$
0,050	0,00052360	1413,295000	1000,766000	$8000,000 = \frac{1}{(0,05)^3}$
0,100	0,00418879	176,661900	125,097000	$1000,000 = \frac{1}{(0,1)^3}$
0,500	0,52359890	1,413295	1,000766	$8,000 = \frac{1}{(0,5)^3}$
1,000	4,18879200	176662	125097	$1,000 = \frac{1}{(1)^3}$
5,000	523,59890000	1413	1001	$0,008 = \frac{1}{(5)^3}$
10,000	4188,79200000	177	125	$0,001 = \frac{1}{(10)^3}$

Mit Rücksicht auf die Permeabilitätsverhältnisse haben wir in diesen Zahlen einen Ausdruck dafür, wie mit der Verkleinerung des Kornes die Porenzahl (bei gleichbleibendem Gesamtvolumen) wächst. Die Folge davon ist, dass die Luft, die durch einen Boden von feinerem Korn hindurchtreten soll, einen viel längeren Weg zurückzulegen hat, die Poren sind viel enger und stellen, aneinander gereiht, einen viel längeren Canal dar.

Es wird allerdings bei diesem Verhalten eine kleine Compensation eintreten, der Widerstand wächst wohl mit der Länge und mit der Verengerung des Querschnitts, aber er nimmt dafür ab mit der Verringerung



des Umfangs; da aber das Wachsen des Widerstandes, das durch die Verengerung des Querschnitts herbeigeführt wird, im Verhältniss der zweiten Potenz des Radius erfolgt, entsprechend den Querschnittsformeln  $\frac{1}{2} r^2 (2\sqrt{3-\pi})$ . dichte Lagerung, und  $r^2 (4-\pi)$ , lockere Lagerung (S. 28 u. 29), die Abnahme des Widerstandes durch die Abnahme des Umfanges dagegen nur im Verhältniss der ersten Potenz des Radius (entsprechend der Formel für den Umfang:  $\pi r$ , dichte Lagerung und  $2\pi r$ , lockere Lagerung, so ist es klar, dass die Widerstandszunahme weit überwiegt. Hierbei ist ja auch noch zu berücksichtigen, dass auch in Folge der durch die Vergrößerung der Porenzahl herbeigeführten Verlängerung des Weges der Widerstand zunimmt.

Diese Erwägungen, sowie die erwähnten Versuche geben uns einen Maassstab dafür, welchen Einfluss eine Lockerung des Bodens, also eine Vergrößerung der einzelnen Poren, auf diese Verhältnisse ausüben muss. Die Lockerung verändert nicht bloß das Gesamtvolumen der Poren, sondern auch die Weite derselben und es erfolgt eine Erhöhung der Permeabilität, welche bei gleicher Vergrößerung des Porenvolumens bei engmaschigem Boden eine relativ viel bedeutendere ist, als bei weitmaschigem.

Wir werden uns diese Thatsachen gegenwärtig halten müssen bei der Erklärung des epidemischen Ausbruches mancher mit dem Boden in Zusammenhang stehenden Krankheiten. Besonders vom Wechselfieber wird angeführt, dass die Lockerung, das Aufwühlen des Bodens, wie sie bei Feld- und Erdarbeiten vorgenommen werden, zur Ausbreitung der Krankheit führen. Die Hafenbauten im Jadegebiete<sup>1)</sup>, die Kanalarbeiten in Walcheren<sup>2)</sup>, die Urbarmachung des bisher brach gelegenen Bodens in Pennsylvanien<sup>3)</sup> haben derartige Beispiele geliefert. Wenn durch diese Arbeiten der Krankheitskeim vielleicht vielfach direct an die Oberfläche gebracht wird, oder der Zutritt der Luft zu gewissen Bodenschichten die Vegetationsverhältnisse der niedrigen Organismen beeinflusst, so verdient immerhin diese gesteigerte Permeabilität des Bodens Beachtung, die einen leichteren Austausch zwischen Boden und Oberfläche ermöglicht. In Italien bleibt der alte, durch natürliche oder künstliche Aufschüttungen zugedeckte Sumpfboden (*cuora palustre*) unschädlich, so lange die ihn überdeckenden Auflagerungen eine hinreichend dicke und compacte Schichte bilden; er erzeugt dagegen Malaria, wenn nur eine dünne Schichte lockeren Erdreichs die Abschliessung bewirken soll oder wenn die Luft in Folge von Ausgrabungen oder durch Spalten zu demselben eindringen kann.<sup>4)</sup>

1) WENZEL, Die Marschfieber im Jadegebiete. Prager Vierteljahrsschr. 1870.

2) A. A. FOKKER, De Kanalgravers in Walcheren en de malaria. Wiekblad van het Nederl. tydschr. voor geneesk. 1877.

3) A. HIRSCH, Handbuch der historisch-geographischen Pathologie. 1. Auflage. 1852.

4) KLEBS u. TOMASI-CRUDELI, Studien über die Ursache des Wechselfiebers. Archiv f. exp. Pathol. u. Pharmacol. XI.

Wir haben bisher nur die Verschiedenheit in der Permeabilität einer und derselben Bodenart (im mineralogischen Sinne genommen) betrachtet; die Differenzen zeigen sich auch bei differenten Bodenarten, wenn auch im Allgemeinen nicht in so hohem Grade.

FLECK<sup>1)</sup> untersuchte 11 Bodenproben von Kirchhöfen auf ihre Durchlässigkeit für Luft, indem er unter gewissen Cautelen am Manometer den Widerstand bestimmte, welcher der Luftbewegung durch eine Bodensäule von bestimmter Höhe entgegengesetzt wird, ausgehend von der von ihm durch Experimente gestützten, nun aber wieder durch die Versuche WELITSCHKOWSKY's (vgl. Luftbewegung im Boden) widerlegten Annahme, dass die Durchlässigkeiten umgekehrt proportional sind den bei gleich hohen Schichten verschiedener Bodenarten auf diese Weise beobachteten Manometerständen.

Für die durchlässigste Bodenprobe den Werth 100 setzend, fand er:

Material	Porenvolumen	Durchlässigkeitsprocent
I. Geröllkies (in 15,5 Cbcm. = 20 Grm. 5 Cbcm. grober, steiniger Kies, 10 Cbcm. Sand, 0,5 Cbcm. Lehm) . . . . .	49,7%	100.
II. Kies und Sand (in 11,2 Cbcm. 10 Cbcm. Kies von 3—5 Mm. Durchmesser, 0,8 Cbcm. Sand, 0,4 Cbcm. Sand (feinkörnig) 0,4 Cbcm. Lehm) . . . . .	32,9%	62,33.
III. Sand (in 12,2 Cbcm. 11,5 Cbcm. reiner Sand, (Quarzsteine mit abgestumpften Ecken von 0,5—2 Mm. Durchm.), 0,7 Cbcm. Lehm) . . . . .	34,5	61,60.
IV. Sand, feinkörniger als III, nur Spuren von Lehm . . . . .	43,2	45,86.
V. Sand, feinkörniger als IV, Korngrösse 1 Mm. nicht überschreitend . . . . .	44,2	38,34.
VI. Sand, feinkörniger als V, fast lehmfrei . . . . .	41,3	36,88.
VII. Rothliegendes (in 19,5 Cbcm. 15 Cbcm. Sand, 4,5 Cbcm. Lehm) . . . . .	56,4	1,46.
VIII. Lehmhaltiger Sand, ein sehr feines Pulver, bestehend aus Lehm und einem höchst feinkörnigen Quarzsand (0,25 Mm.) . . . . .	52,1	1,09.
IX. Lehm- und mergelreicher Sand, feinkörnig (in 16,5 Cbcm. 7 Cbcm. Sand mit Kies, 3 Cbcm. feinkörniger Mergel, 6,5 Cbcm. Lehm) . . . . .	51,8	0,61.
X. Lehmboden (in 18,1 Cbcm. 9 Cbcm. Sand, 9,1 Cbcm. Lehm) . . . . .	55,8	0,59.
XI. Lehmboden, enthält nur Spuren von Sand . . . . .	54,8	0,52.

1) H. FLECK, Ueber die Durchlässigkeit von Kirchhofbodenproben. VIII u. IX. Jahresbericht der chem. Centralstelle f. öffentl. Gesundheitspflege in Dresden.

Alle diese Bodenarten wurden in trockenem, pulverigem Zustande untersucht.

Es kann auch diesen Untersuchungen keine allgemeine Gültigkeit zugesprochen werden, auch schon aus dem Grunde, weil keineswegs überall ein in physikalischer Beziehung gleichwerthiges Material vorlag; die Korngrössen schwanken bis zu Differenzen von 4,75 Mm. Einige Schlüsse lassen sich jedoch, da bei den grossen Differenzen in den Resultaten die hervorgehobenen Fehlerquellen zurücktreten, mit ziemlicher Sicherheit ziehen.

Vor Allem sehen wir wieder, welch geringen Einfluss das Porenvolumen an sich auf die Permeabilität besitzt. Gerade die Bodenarten mit dem grössten Porenvolumen VII—XI zeigen die geringste Durchlässigkeit. Sodann sehen wir in den Bodenarten III, IV, V eine weitere Bestätigung der Thatsache, dass mit der zunehmenden Feinheit des Materials das Porenvolumen wohl ebenfalls zu-, die Durchlässigkeit jedoch abnimmt.

Sehr schlagend tritt jedoch der die Durchlässigkeit beeinträchtigende Einfluss des Lehms hervor. Alle Bodenarten, in denen die Lehmmenge eine erhebliche Grösse erreicht, sind bedeutend impermeabler für Luft (VII, VIII, IX). Es tritt dies auch in den Versuchen, wo mit reinem, unvermischem Material gearbeitet wird, deutlich hervor. AMMON<sup>1)</sup> hat gleich RENK die Permeabilität verschiedener Bodenarten aus der Menge Luft, die in einer bestimmten Zeiteinheit (1 Stunde) bei constantem Druck durch eine Bodensäule von bestimmter Höhe (50 Ctm.) hindurchging, bestimmt.

Die Resultate seiner Versuche sind:

Material	Beschaffenheit desselben	Durchgegangene Luft in Litern	
		absolut	relativ
1. Lehm . . . . .	Pulver . . . . .	1,62	100
2. Kaolin . . . . .	Pulver . . . . .	2,84	175
3. Humoser Kalksand .	Pulver . . . . .	3,32	204
4. Kreide . . . . .	Pulver . . . . .	3,78	203
5. Reiner Kalksand	Korngrösse . . . . .	4,24	261
6. Torf . . . . .		5,04	311
7. Quarzsand . . . . .		16,80	1037.

Thon und ähnlich beschaffene Böden (Kreide z. B.) besitzen also die geringste Permeabilität. Sie müssen, wenn sie dem höchst permeablen, sandigen Boden beigemischt sind, die Permeabilität des letzteren herabsetzen. Es geschieht dies in unverhältnissmässig

1) G. AMMON, Untersuchungen über die Permeabilität des Bodens für Luft. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. III. 209.

hoher Weise. Die Verminderung der Permeabilität von Quarzsand erfolgte in folgender Weise:

Quarzsand	$\frac{3}{4}$ vol. Quarzsand + $\frac{1}{4}$ vol. Lehm-pulver	$\frac{1}{2}$ vol. Quarzsand + $\frac{1}{2}$ vol. Lehm-pulver	$\frac{1}{4}$ vol. Quarzsand + $\frac{3}{4}$ vol. Lehm-pulver	Lehm-pulver
Durchgegangene Luft (Liter per Stunde)	82,57 (100)	3,11 (3,76)	2,80 (3,39)	1,70 (2,05)
				1,44 (1,74)

Diese Eigenthümlichkeit des Thons und Lehms, die Permeabilität herabzusetzen, beruht auf dem Umstande, dass aus demselben sich gerade die feinsten, abschlämbbaren Theile constituiren, also jene Körper, die vermöge ihrer Kleinheit die kleinsten Poren und damit den grössten Widerstand repräsentiren und die selbst alle etwaigen grösseren Hohlräume auszufüllen und zu verlegen vermögen (S. 36). Es gilt dies besonders für die hier angeführten Versuche, bei denen die Materialien in pulverförmigem Zustande angewendet würden.

Allein der Lehm kommt in der Natur auch in einer andern Modification vor, im krümligen Zustande, d. h. in Form von Bröckchen unregelmässiger Gestalt, wie sie durch die der Befeuchtung nachfolgende Austrocknung gebildet werden. Eine solche Structur muss natürlich das Permeabilitätsverhältniss wesentlich alteriren, da auf diese Weise eine Bodenart mit unregelmässigen, grossen Zwischenräumen erhalten wird und in der That, die Zunahme der Permeabilität des Lehm-bodens für Luft wird in Folge dieser Veränderung eine so bedeutende, dass sie sogar die des Quarzbodens übertreffen kann.

Korngrösse. Durchmesser	Durchgegangene Luft in Litern.	
	Lehmkrümel	Quarzsand
0,25—0,50 Mm.	30,90 (100)	41,04 (132)
0,50—1,00 "	123,75 (400)	92,24 (298)
1,00—2,00 "	420,16 (1359)	287,57 (930)

Die Permeabilität wächst mit der Zunahme der Korngrösse wieder in geometrischem Verhältnisse; die Steigerung ist aber bei den Lehmkrümeln noch bedeutender als beim Quarzsand; während sie bei letzterem im Verhältniss von 100 : 225 : 683 wächst, erfolgt dieses Ansteigen bei den Lehmkrümeln im Verhältniss von 100 : 400 : 1359, sodass sich alsbald das Permeabilitätsverhältniss zu Gunsten des Lehms umkehrt. Es dürfte dieses Verhalten seine Erklärung finden in der unregelmässigen Gestalt; der höckerigen Oberfläche, die die Lehmkrümeln im Gegensatze zu den scharfabgeschnittenen Quarzpartikeln darbieten, wodurch eine Vergrösserung der Hohlräume erzielt wird.



*B. Permeabilität des feuchten Bodens.*

Den bisherigen Betrachtungen lag die Voraussetzung zu Grunde, dass die im Boden vorhandenen Poren auch wirklich nur mit Luft gefüllt sind, d. h. dass der Boden, um den es sich handelt, vollkommen lufttrocken sei.

Diese Permeabilitätsverhältnisse erleiden jedoch sofort eine ganz wesentliche Aenderung, sowie Wasser mit in die Zusammensetzung des Bodens eintritt, sowie sich in den Poren neben Luft auch Wasser oder ausschliesslich Wasser vorfindet. Von diesem letzteren extremen Falle, in welchem sämtliche Poren mit Wasser erfüllt sind, und der in jenen, das Grundwasser (II. Theil, Cap. II) führenden Bodenschichten etablirt ist, können wir insofern absehen, als hierdurch die Permeabilität des Bodens für Luft überhaupt aufgehoben wird.

Wir werden uns also nur mit jenen Verhältnissen zu beschäftigen haben, wo neben Wasser auch noch Luft vorhanden ist, wo nicht sämtliche Poren oder wenigstens nicht der gesammte Rauminhalt der einzelnen Poren mit Wasser erfüllt ist, wo es sich also um Bodenarten handelt, die wir mit dem Namen „feucht“ oder „nass“ bezeichnen.

Am zugänglichsten unserer Betrachtung werden jene Feuchtigkeitszustände sein, welche dadurch entstehen, dass ein Boden, dem eine gewisse Menge Wasser von oben her zugeführt wird, sich seines Ueberschusses entledigt, oder aber, dass in einem Boden von unten her, aus einer vollkommen mit Wasser angefüllten Bodenschicht (aus dem Grundwasser) durch Capillaritätswirkung Wasser aufsteigt. Hierdurch wird naturgemäss das Porenvolumen, welches noch für die Luft verfügbar bleibt, herabgemindert, und zwar in einem Grade, für den wir einen Maassstab in den Verhältnissen der Wassercapacität besitzen (vgl. dieses Capitel, Abschnitt 5). Es wird in beiden Fällen das Wasser in den capillaren Räumen zurückgehalten, und, so weit es die Adhäsion ermöglicht, auch an den Wandungen der grösseren nicht capillaren Hohlräume. Es wird also sowohl die Zahl der mit Luft gefüllten Hohlräume als auch die Grösse der der Luft zur Verfügung gestellten Hohlräume vermindert. Die Zahl derselben erleidet dadurch eine Einbusse, dass die rein capillaren Hohlräume vollkommen mit Wasser gefüllt sind, die Grösse derselben dadurch, dass auch in den grösseren Hohlräumen in Folge der Adhäsion Wasser zurückbleibt, und dass sich in letzteren in den überall vorhandenen Ecken, Winkeln und Spalten auch wieder Capillaritätswirkungen geltend machen. Auf diese Weise muss die Permeabilität des Bo-

dens entsprechend dem geringeren Porenvolumen verringert erscheinen (vgl. S. 37). Ferner wird auch in manchen Schichten, wenigstens zeitweilig, ein vollständiger Verschluss der Poren eintreten, der erst mittelst eines gewissen Druckes überwunden werden kann. Es muss die Wassersäule, die die Capillare verschliesst, von der Luft gehoben, verdrängt, in andere Poren hineingetrieben werden, um schliesslich, wenn dieser Druck zu wirken aufgehört hat, in ihre frühere Lage zurückzukehren. Durch diesen Vorgang, durch diesen Transport des Wassers wird aber lebendige Kraft verbraucht, was sich in Verminderung der Luftbewegung, in der Abnahme der Permeabilität für Luft äussern muss.

Die Abnahme der Permeabilität wird demnach in erster Linie von dem Wassergehalt, der Menge des im Boden vorhandenen Wassers beeinflusst werden. Je mehr Wasser in demselben vorhanden ist, desto grösser ist das der Luftcirculation entzogene Porenvolumen. Einen ziffernmässigen Beleg hierfür liefert uns die Untersuchung von AMMON.<sup>1)</sup> Er mischte Quarzsand, dessen Permeabilität er in trockenem Zustande bestimmt hatte, mit verschiedenen Mengen Wassers und bestimmte nach Einfüllung des so befeuchteten Bodens in Röhren neuerdings die Permeabilität unter sonst gleichen Verhältnissen.

1 Korn- grösse	2 Durch- messer des Korns Mm.	3 Durchgegangene Luft in Litern per Stunde. 40 Mm. Wasserdruk					7
		trockener Boden	50 Cbcm.	100 Cbcm.	150 Cbcm.	200 Cbcm.	
I	2,00—1,00	277,47 (100)	295,16 (106)	105,64*) (38)	—	—	—
II	1,00—0,50	96,36 (100)	102,02 (105)	64,82 (67)	31,68**) (32)	—	—
III	0,50—0,25	44,77 (100)	48,42 (108)	28,80 (64)	3,02***) (6)	—	—
IV	0,25—0,00	16,76 (100)	20,69 (123)	17,24 (102)	7,04 (42)	1,68*) (10)	—

\*) Es verlor der Boden während des Versuches Wasser: 10 Cbcm. \*\*) 30 Cbcm. \*\*\*) 20 Cbcm.

Die in den Klammern beigefügten Zahlen bezeichnen die relative Abnahme gegenüber der im trockenen Boden gefundenen Grösse, diese als 100 gesetzt.

Die Abnahme der Permeabilität, wie sie sich in diesen Versuchen ausspricht, geht in der That parallel mit der aufgenommenen Wassermenge, und nur bei geringem Wassergehalt zeigt sich eine Ausnahme (Col. 4), indem hier bei allen Korngrössen eine Zunahme erfolgt; wie AMMON annimmt, wohl aus dem Grunde, weil unter diesen Bedingungen die Sandkörner Krümel bilden, welche Krümelbildung die Permeabilität erhöht (S. 44).

1) G. AMMON, Untersuchungen über die Permeabilität des Bodens für Luft. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. III.

Es könnte aus diesen Versuchen auch bereits ein Schluss gezogen werden auf das Verhalten einer und derselben Bodenart bei verschiedenem mechanischen Gefüge, bei verschiedener Korngrösse. Doch fehlt hierzu die Angabe des Porenvolumens und der Wassercapacität der einzelnen Bodensorten. In jenen Fällen, wo der Wasserzusatz der absoluten Wassercapacität ungefähr entspricht, indem bereits überschüssiges Wasser abfließt (Col. 5, Col. 6 und Col. 7) ist zu beobachten, dass die Abnahme der Permeabilität parallel geht der Abnahme der Korngrösse, mit Ausnahme von Korn IV.

Die Versuche RENK's<sup>1)</sup> gingen direct von der absoluten Wassercapacität aus, also von jener Wassermenge, die durch Capillarität und Adhäsion zurückgehalten wird. Die im Cylinder eingefüllten Bodenarten wurden entweder von obenher durch künstlichen Regen oder von unten durch Eintauchen in Wasser mit demselben gesättigt.

Material	Korngrösse Mm.	Poren- volumen in Volum-%	Druck in Mm. Wasserhöhe	Geförderte Luftmenge in Litern per Stunde			Zurückgehaltene Wassermenge (absol. Wassercapacität) bei Befeuchtung	
				trocken	befeuchtet von oben	befeuchtet von unten	von oben in % des Porenvolum.	von unten
Mittelsand .	< 7	37,9	20	15,54	14,63	13,70	6,6	12,6
Feinkies .	< 4	37,9	40	14,04	13,16	12,55	7,8	16,9
Grobsand .	< 2	37,9	40	2,33	1,91	1,71	23,4	31,2
Mittelsand .	< 1	55,5	150	0,84	0,23	0,00	36,4	46,5
Feinsand .	< 1/3—1/4	55,5	150	0,01	0,00	0,00	65,1	77,4

Es sind diese Zahlen nicht sämtlich miteinander vergleichbar, da der Druck mit dem die Luft durch den Boden getrieben wurde und auch die Lagerung des Bodens in Bezug auf die Dichtigkeit variierte. Im Allgemeinen geht mit der Zunahme der Wassercapacität eine Abnahme der Permeabilität einher; letztere wächst aber bei den feineren Kornsorten schneller als die Zunahme der Wassercapacität und dies ist wohl leicht verständlich. Es handelt sich ja nicht bloß darum, dass eine Reihe von Poren der Luftcirculation entzogen wird, sondern auch darum, dass der Weg, den die Luft zu nehmen hat, so und so viele Unterbrechungen durch zwischengelagerte Wasserschichten erleidet, dass eine ganze Reihe von Wassersäulen gehoben werden muss, dass der Weg in viel zahlreicheren Windungen und in noch engeren Kanälen zurückgelegt werden muss, also auch einem

1) F. RENK, Ueber die Permeabilität des Bodens für Luft. Zeitschrift für Biologie. XV.

viel grösseren Widerstande begegnet. Deshalb hört auch oft bei einem bestimmten Drucke jede Luftcirculation auf, trotzdem eigentlich noch eine genügende Menge von Hohlräumen vorhanden ist. So in der vorstehenden Tabelle beim Mittelsand zu einer Zeit, wo der Verlust durch Befeuchtung 46,5 %, also noch nicht ganz die Hälfte des Porenvolumens, betrug und noch 29,7 % des Bodenvolumens mit Luft gefüllt waren. Ferner beim Feinsand zu einer Zeit, wo erst 65,1 bzw. 77,4 %, also nicht ganz  $\frac{3}{4}$  des Porenvolumens, mit Wasser erfüllt waren und noch 19,4 % bzw. 12,5 % des Bodenvolumens an lufthaltigen Poren vorhanden waren.

Je mehr Wasser nun ein Boden in sich zurückhalten kann, je feinporiger er ist, desto grösser ist die Abnahme, die die Permeabilität durch Befeuchtung, z. B. durch Regen oder durch Imbibition von unten her erleidet. Dasselbe Resultat muss aber auch seine Geltung haben, wenn — bei gleichem Korn — in dem Materiale selbst die Bedingung zu grösserer Wasseranhäufung gegeben, wenn die Unterschiede in der wasserfassenden Kraft, in der absoluten Wassercapacität, im mineralogischen Charakter der Bodenart gegeben sind. So wird z. B. im Thon bei Erfüllung der capillaren Räume mit Wasser ein vollständigerer Abschluss gegen den Durchtritt der Luft erfolgen, als beim Sand. Dieser Effect führt nach RENK's Versuchen gerade die Befeuchtung von unten her noch leichter hervor, als von oben. Es ist dies deshalb im Auge zu behalten, weil, wie wir später sehen werden, gewisse Coincidenzen zwischen dem Auftreten von Krankheiten und der Feuchtigkeit im Boden sich wohl mit den Schwankungen des den Boden von unten her benetzenden Grundwassers parallelisiren lassen, nicht immer aber mit den von oben her in den Boden eindringenden Niederschlägen. Aber auch bei den Niederschlägen ist die luftabschliessende Wirkung zu constatiren und wohl mit epidemiologischen Thatsachen in Einklang zu bringen.

LEWIS und CUNINGHAM <sup>1)</sup> zeigen, dass in Calcutta in den Regenmonaten die Poren in den oberen Bodenschichten verstopft werden und dass in Folge dessen die Kohlensäure der tieferen Schichten, die nicht mit der Oberflächenluft in Austausch treten kann, sich dort anhäuft. In diese Zeit fällt nun auch der Abfall der Choleracurve.

Es wird jedoch bei derartigen Fragen immer der specielle Fall zu untersuchen sein. So wie einerseits der Regen verstopfend wirken, die Luftcirculation aus dem Boden hemmen kann, so kann er

---

1) T. R. LEWIS and D. D. CUNINGHAM, Cholera in relation to certain physical phaenomena. Calcutta 1878.



wieder die Luft im Boden, sie allmählich verdrängend, gegen den trocken gebliebenen Untergrund der Häuser treiben und sie hier eintreten lassen. Bei der Erklärung der sich scheinbar widersprechenden Beobachtungen, dass Regen bald den Ausbruch einer Epidemie herbeiführe oder wenigstens einleite, bald die ausgebrochene zum Stillstand bringe, werden diese Verhältnisse mit berücksichtigt werden müssen.

### *C. Permeabilität des gefrorenen Bodens.*

Das Wasser ist aber zuweilen nicht blos in tropfbar flüssigem, sondern auch in festem Aggregatzustande im Boden vorhanden und beeinflusst hierdurch abermals in besonderer Weise die Permeabilitätsverhältnisse. Durch das Gefrieren wird das Volumen des Wassers vergrößert um ca.  $\frac{1}{10}$  des ursprünglichen Volumens, es wird also, schon aus diesem Grunde, durch weitere Verkleinerung der Poren und Verminderung des Gesamtvolumens derselben die Permeabilität herabgesetzt. Ausserdem werden jetzt einzelne Hohlräume, die früher mit Wasser, einem leicht beweglichen und also auch durch Luft relativ leicht verdrängbaren Stoffe, erfüllt waren, dadurch, dass sich Eis in denselben abgelagert hat, das sich fest an die Wände anlegt, vollständig undurchgängig; sie werden aus der Luftcirculation förmlich eliminirt, und es werden viele Bodenpartikel durch das Eis derart miteinander verkittet, dass sie nun ein grosses compactes Fragment bilden. Auf diese Weise muss also abermals das Porenvolumen herabgemindert, aber auch der Durchgang der Luft erschwert werden.

Im Grossen und Ganzen behalten für die Abnahme der Permeabilität im gefrorenen Boden (gegenüber der Permeabilität im feuchten aber nicht gefrorenen Zustande) alle jene Erwägungen Geltung, die wir bei der Abnahme der Permeabilität durch Wasseraufnahme angestellt haben. Es wird also zunächst die Menge des im Boden vorhandenen Wassers einen Einfluss ausüben; je grösser dieselbe, desto grösser auch die Volumenzunahme durch das Gefrieren, desto grösser die Abnahme der Porengrösse, des Porenvolumens, desto grösser auch die Zahl der Umwege und der Widerstand, die durch das Gefrieren des Wassers in den Poren veranlasst werden. Alle diese Umstände werden um so schwerer in die Wage fallen, je feiner das Korn, je geringer die Grösse der einzelnen Poren an sich schon ist. v. AMMON (l. c.) fand bei wechselndem Wassergehalte und Kornvolumen für:

Quarzsand		Höhe der Bodenschichte 50 Cm.						
Korngrösse: Durch- messer in Mm.	Wasser- menge in Gr.	Durchgegangene Luft in Litern per Stunde		Verminde- rung der Permeabi- lität in ‰	Wasser- menge in Gr.	Durchgegangene Luft in Litern per Stunde		Verminde- rung der Permeabi- lität in ‰
		nicht gefroren	gefroren			nicht gefroren	gefroren	
2—1	54	263,69	259,12	1,7	—	—	—	—
1—0,5	56	100,71	100,01	0,7	120	31,68	20,87	34
0,5—0,25	56	48,75	48,61	0,23	130	3,02	1,36	55
0,25—0,00	56	21,50	20,46	5,1	200	0	0	—

Bei geringem Wassergehalte treten, wie wir sehen, keine grossen Veränderungen ein, besonders bei grobkörnigem resp. grobporigem Boden. Je mehr Wasser jedoch vorhanden ist, desto grösser wird die Verminderung, die bei diesen Versuchen bis zu 55 ‰ sich erhebt, so dass die nach dem Gefrieren hindurchtretende Luftmenge nicht einmal mehr die Hälfte der durch den feuchten, ungefrorenen Boden hindurchtretenden betrug. Noch grösser werden die Unterschiede, wenn die Bodenarten eine ihrer Wassercapacität entsprechende Wassermenge enthalten, wie dies bei den Versuchen RENK's (l. c.) der Fall war.

Material	Korngrösse	Porenvolumen	Durchgegangene Luft in Litern per Stunde		Verlust der Permeabilität in ‰	Durchgegangene Luft in Litern per Stunde		Verlust der Permeabilität in ‰
			Befeuchtung von oben			Permeabilität Befeuchtung von unten		
	Mm.		feucht	gefroren		feucht	gefroren	
Mittelkies . . .	^ 7	37,9	14,63	13,57	5,2	13,70	12,20	10,9
Feinkies . . .	^ 4	37,9	13,16	12,54	5,4	12,55	10,18	19,0
Grobsand . . .	^ 2	37,9	1,91	1,64	14,1	1,71	1,27	25,7
Mittelsand(locker)	^ 1	41,5	0,11	0,07	36,4	0,00	0,00	—
Mittelsand(dicht)	^ 1	55,5	0,23	0,00	100	0,00	0,00	—

Je feiner das Korn und je dichter die Lagerung, welche beide Momente sich in der Wassercapacität aussprechen, desto grösser die durch das Gefrieren des Bodens hervorgerufene Abnahme der Permeabilität, sowohl absolut als auch relativ. Dieselbe gesteigerte Abnahme wird aber auch wieder hervorgerufen, je grösser die Quantität des in Folge der Wassercapacität zurückgehaltenen Wassers ist, wie dies bei der Befeuchtung von unten her der Fall ist.

Diese Abnahme der Permeabilität in gefrorenem Boden kann ihre grosse Bedeutung haben. Es wird durch sie jedenfalls die Circulation zwischen Oberflächenluft und Bodenluft local erschwert oder gehemmt. Die Folge davon ist, dass sie sich an denjenigen Stellen, wo der Boden nicht gefroren ist, in gesteigertem Maasse sich etablirt. Auf diese Weise wird also in der rauhen Jahreszeit gerade in unsern Häusern, unter welchen der Boden nicht gefriert, die Bodenluft

leichter Gelegenheit haben zu circuliren und auszutreten und wird dies um so eher thun, als hier auch noch durch die höhere Temperatur, die in unsern Häusern herrscht, eine Art künstliche Aspiration hervorgerufen wird (vgl. S. 61).

Es kann dieser Umstand in einzelnen Fällen vielleicht auch für das im Winter erfolgende oder sich steigernde Auftreten gewisser zum Boden in ätiologischer Beziehung stehender Infectiouskrankheiten eine Erklärung abgeben.

### III. Luftbewegung im Boden.

Aus den bisher geschilderten Verhältnissen der Permeabilität geht wohl hervor, dass unter Umständen eine Bewegung der Luft im Boden möglich ist; es bleibt aber zu erörtern, ob und unter welchen Bedingungen eine solche Bewegung wirklich zu Stande kommt und ob sie zur Wahrnehmung gelangen kann.

Die Bedingungen, unter denen eine Luftbewegung im porösen Boden überhaupt eintreten kann, liegen vorerst in etwaigen Druckdifferenzen, die sich zwischen der Bodenluft (der Luft in den Bodenporen) und der Luft oberhalb des Bodens einstellen können. Solche Druckdifferenzen können nun auf verschiedene Weise zu Stande kommen.

1. Wir können in erster Linie an die Luftdruckschwankungen der Atmosphäre denken. Nach VOGT<sup>1)</sup>, der zuerst auf diesen Faktor aufmerksam gemacht hat, wird mit dem Sinken des Atmosphärendruckes sich die Luft im Boden im Verhältniss zur Abnahme des Atmosphärendruckes ausdehnen und demgemäss aus dem Boden aufsteigen. Wenn z. B. das Barometer von 720 Mm. auf 710 Mm., um 10 Mm., also  $\frac{1}{72}$  der ursprünglichen Barometerhöhe fällt, so wird auch in der Bodenluft eine Dichtigkeitsverminderung von  $\frac{1}{72}$  der vorhandenen Dichtigkeit eintreten. Es tritt der 72. Theil der im Boden befindlichen Luft, als deren untere Grenze das nächste aporöse Material, meist Wasser, zu denken ist, an die Oberfläche. Es lässt sich vom theoretischen Standpunkte aus diese Erwägung nicht abweisen; die Bodenluft wird, wenn überhaupt eine Communication mit der Oberflächenluft vorhanden ist, sich ausdehnen. Dieser Vorgang wird sich aber nur sehr allmählich vollziehen und zwar auch in jenen Fällen, in welchen die Barometerschwankungen selbst sehr rasch erfolgen. Das ergibt sich aus den bei der Permeabilität geschilderten Verhältnissen, die den grossen Widerstand, den die Luftbewegung

1) A. VOGT, Trinkwasser und Bodengase. Basel 1874.

im Boden findet, darlegten. Wohl als Beweis für die Allmählichkeit, für die grosse Langsamkeit, mit der sich dieser Vorgang vollzieht, kann der Umstand gelten, dass die auf diesen Punkt gerichteten Beobachtungen keine unzweifelhaften Resultate ergeben haben. Es wurde versucht, aus den Schwankungen des Kohlensäuregehaltes einzelner Bodenschichten im Vergleich mit den Schwankungen des Barometerstandes eine Entscheidung der Frage herbeizuführen. Die tieferen Bodenschichten sind kohlensäurereicher als die höheren (vgl. Cap. V). Tritt nun beim Sinken des atmosphärischen Luftdruckes eine Ausdehnung der Bodenluft, ein Aufsteigen derselben ein, so gelangt mit der Luft auch die Kohlensäure in höhere Regionen und es muss der Kohlensäuregehalt hier höher gefunden werden, als dem sonstigen Befunde entsprechen würde. Im andern Falle müsste mit dem Steigen des Barometerstandes ein Zusammendrücken der Bodenluft erfolgen, es wird atmosphärische (kohlensäurearme) Luft in den Boden dringen und der Kohlensäuregehalt der Grundluft wird niedriger gefunden als erwartet werden soll. Die Versuche, die WOLFFHÜGEL<sup>1)</sup>, von diesem Gesichtspunkte ausgehend, in München anstellte, ergaben jedoch ein negatives Resultat. Insbesondere unmittelbar am Boden, wo die Differenz sich am deutlichsten hätte bemerkbar machen müssen, liess sich keine Coincidenz auffinden und ebensowenig in der Bodenluft selbst.

Zu ähnlichen Resultaten kam auch FODOR in Budapest.<sup>2)</sup> Seine auf diesen Punkt gerichteten Beobachtungen ergaben zwar als Mittel von 463 Bestimmungen, dass die Kohlensäure mit sinkendem Luftdruck auf drei Stationen gestiegen und nur auf einer Station gesunken war; doch war auch diese bei sinkendem Luftdruck constatierte Zunahme so geringfügig, dass sie nur an den Massenbeobachtungen zu erkennen war, wogegen in den Einzelbeobachtungen der Zusammenhang oft genug zu vermissen war. Es liess sich bei der Zunahme des Luftdrucks eine ausgesprochene Tendenz zur Vermehrung oder zur Abnahme des Kohlensäuregehaltes nicht erkennen. Wenn nun auch aus diesen Beobachtungen hervorgeht, dass den Luftdruckschwankungen auf die Kohlensäure im Boden nur ein untergeordneter Einfluss zukommt, so braucht deshalb der Einfluss auf die Luftbewegung, auf das Emporsteigen der Grundluft nicht vollständig ausgeschlossen zu werden. Wie schon bemerkt, muss sich

1) WOLFFHÜGEL, Ueber den Einfluss der Barometerschwankungen auf die Bodengase. Amtl. Bericht der 50. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte. München 1877.

2) FODOR, Hygienische Untersuchungen über Luft, Boden und Wasser. Braunschweig 1881.



die Ausgleichung des Luftdrucks im Boden und in der Atmosphäre nur sehr allmählich vollziehen, schon wegen des grossen Widerstandes im Boden und wegen der geringen motorischen Kraft, und es ist leicht möglich, dass die Diffusion zwischen den kohlenensäureärmeren und -reicheren Schichten derart mächtig ist, dass sie die Wirkung des Aufsteigens der Bodenluft theils verdeckt, theils, wenn sie im entgegengesetzten Sinne wirkt, compensirt.

2. Ein anderes ursächliches Moment für die Bewegung der Grundluft liegt in den Temperaturdifferenzen, die zwischen der Bodenluft und der atmosphärischen Luft sich finden. Die Temperatur des Bodens, mit ihr auch die der Bodenluft, verfolgen ihren eigenen Gang (vgl. Cap. IV), der besonders je nach der wechselnden Tiefe keineswegs in Uebereinstimmung sich befindet mit den täglichen oder monatlichen, selbst jährlichen Schwankungen der Atmosphärentemperatur. So hat in einer gewissen Tiefe der Boden im Frühjahr und im Sommer meist eine niedrigere, im Herbst und Winter eine höhere Temperatur, als die atmosphärische Luft. Unter gewöhnlichen Verhältnissen, wenn sich einmal die Spannungen der Luft ausgeglichen haben, braucht dies noch zu keiner Luftbewegung zu führen. Diese Luftbewegung wird erst eintreten, wenn sich durch erneute Abkühlung oder Erwärmung in einer dieser Luftarten die Spannungsresp. Dichtigkeitsverhältnisse ändern. Dann wird von der einen Luftart soviel in die andere abfliessen, bis die Spannungen beider sich wieder das Gleichgewicht halten. Wird z. B. am Abend, in der Nacht, die atmosphärische Luft kälter und ihre Dichtigkeit grösser, wobei vorausgesetzt werden muss, dass die Höhe der Luftsäule dieselbe bleibt, was durch ein Zuströmen der Luft von anderen wärmeren Stellen her herbeigeführt wird, so wird in Folge der erhöhten Spannung, des erhöhten Luftdrucks, etwas Luft in den Boden eingepresst werden. Der umgekehrte Fall tritt bei Tage ein, bei einer Erhöhung der Lufttemperatur, wenn dieselbe gleichzeitig mit einem Abfluss der erwärmten Luft verbunden ist. Dann kann Luft aus dem Boden in die Atmosphäre gelangen.

Es steht diese Erwägung vielleicht im Widerspruch mit einzelnen epidemiologischen Thatsachen, wenigstens, soweit sie die Malaria betreffen. Bezüglich dieser Krankheit finden sich Angaben, nach welchen die Malaria des Nachts viel intensiver wirke als am Tage, ja, dass in den meisten Malarialändern Nachts die Infection stattzufinden scheine. Die Berichte LIND's <sup>1)</sup> constatiren, dass an der Küste von St. Thomas (Guinea)

---

1) J. LIND, Versuche über die Krankheiten, denen Europäer in heissen Klimaten unterworfen sind. 1773.

nur jene Mannschaft eines dort vor Anker liegenden Kriegsschiffes an Malaria erkrankte resp. starb, welche auch die Nacht am Lande zubrachte, wogegen der ununterbrochene Aufenthalt am Tage keine nachtheiligen Folgen hatte. Dasselbe wird von den Reisenden auf der Landenge von Panama<sup>1)</sup> erzählt. Diejenigen, die auf derselben übernachteten, erkrankten leicht, und die Bahnverwaltung lässt aus diesem Grunde keine Nachtzüge verkehren. In den Marschen<sup>2)</sup> gilt auch hauptsächlich die Nachtluft als das inficirende Moment und in Italien<sup>3)</sup> soll die Infection hauptsächlich in den Morgen- und Abendstunden, namentlich während starken Thaufalles, erfolgen.

Wenn wir nun annehmen, dass die Malaria durch Organismen, die dem Boden entstammen, hervorgebracht wird, so müssten die vom Boden ausgehenden Luftströmungen uns die Keime zuführen und sollte also die Infection und aufsteigende Luftströmung zusammenfallen. Es lassen sich jedoch an diese Thatsachen keine weitergehenden Schlussfolgerungen knüpfen. Abgesehen davon, dass der Zeitpunkt der Infection wohl nicht genau festgestellt werden kann, fehlen ja in diesen Fällen die directen Temperaturbestimmungen und es ist nicht möglich, die Temperatur der Bodenluft und die der atmosphärischen Luft miteinander in Vergleich zu stellen. Es müssen ferner die in der Nacht selbst stattfindenden Temperaturschwankungen der atmosphärischen Luft ins Auge gefasst werden, der Zeitpunkt des Temperaturminimums und des sich hieran anschliessenden Ansteigens der Temperatur. Beachtung verlangt jedenfalls die Angabe, dass bei starkem Thaufall die Infection besonders leicht erfolge.<sup>4)</sup> Ohne auf die Theorie vom Thaufall und auf die Hypothese, dass der Thau zum grossen Theil der aufsteigenden feuchten Bodenluft seinen Ursprung verdanke, einzugehen, sei hier nur der Gesichtspunkt geltend gemacht, dass durch derartige Niederschläge etwaige in der Luft vorhandene Pilze auf die vom Thau benetzten Gegenstände vielleicht in grösserer Menge deponirt werden können.

Für den Austausch zwischen Bodenluft und atmosphärischer Luft ist vielleicht noch als einer der maassgebenden Faktoren die Bodenoberfläche selbst zu betrachten. Diese zeigt nämlich in ihren Temperaturverhältnissen ein Verhalten, das sowohl von dem der Luft als auch von dem des darunterliegenden Bodens wesentlich abweicht (Cap. IV). Ausserdem haben die einzelnen Bodenschichten überhaupt je nach ihrer Tiefe verschiedene Temperaturen zu einer und derselben Zeit, so dass hierdurch allein schon zu Luftströmungen Veranlassung gegeben ist. LITTROW<sup>5)</sup> beobachtete bei Versuchen,

1) S. STRICKER, Vorlesungen über allgemeine u. experimentelle Pathologie. 13.

2) A. P. J. DOSE, Zur Kenntniss der Gesundheitsverhältnisse des Marschlandes. 1. Wechselieber. 1878.

3) E. KLEBS u. C. TOMMASI-CRUDELI, Studien über die Ursachen des Wechseliebers und der Malaria. Archiv f. exper. Pathologie. XI. 325.

4) KLEBS u. C. TOMMASI-CRUDELI, l. c.

5) A. v. LITTROW, Ueber die relative Wärmeleitungsfähigkeit verschiedener

in welchen er die Wärmeleitung des Bodens in Cylindern studirte, dass sich Luftströmungen geltend machten, je nachdem er den Cylindern horizontal legte, oder aber so aufstellte, dass die Wärmeleitung von unten nach oben geschah. Der Wärmeeffect pflanzte sich in letzterem Fall entschieden stärker, schneller und weiter fort, als bei jenen Versuchen, bei welchen die Wärmeleitung nach abwärts, also unabhängig von allen Luftströmungen geschah; und WILDT<sup>1)</sup> vermuthet, dass gewisse Unregelmässigkeiten in der Fortpflanzung der täglichen Minima nach der Tiefe ihren Grund haben in den Luftströmungen, die in den Poren der obersten Erdschichten vorkommen, indem in den Hohlräumen derselben zur Zeit der Minima die in der Nähe der Oberfläche durch die stärkere Abkühlung schwerer gewordene Luft heruntersinken und wärmerer von unten nachströmender Platz machen wird.

Die bisherigen Erörterungen beschäftigten sich mit dem Luftaustausch zwischen Boden und Atmosphäre im Freien und ergaben bezüglich des Einflusses der Temperaturdifferenz keine besonders bestimmten Aufschlüsse. Anders dagegen gestaltet sich die Frage, wenn wir die Luft im Hause der Bodenluft und auch der äussern Luft gegenüberstellen. Hier lassen sich bereits gewisse allgemeine Regeln aufstellen. Wir können die von den Hausmauern eingeschlossene Luft als eine ziemlich homogene Luftsäule betrachten, die je nach ihren verschiedenen Dichtigkeitsverhältnissen verschiedene Luftströmungen veranlassen muss. Dass wir die Luft des Hauses wirklich als ein ziemlich einheitliches Ganze betrachten dürfen, dafür sprechen die Versuche von FORSTER<sup>2)</sup>, aus denen hervorgeht, wie rasch sich die Luft irgend eines Raumes innerhalb eines Hauses in alle übrigen vertheilt und mit diesen vermischt. In einem Hause, in welchem bei der Weingährung im Keller eine grosse Menge Kohlensäure entwickelt wurde, so dass der Kohlensäuregehalt der Luft dieses Raumes bis zu 43 Volumen $\frac{0}{100}$  Kohlensäure enthielt, vertheilte sich diese so rasch und so vollständig über alle Räume, dass nach Ablauf von 6 Stunden in einem Parterrezimmer bereits 1,63  $\frac{0}{100}$ , in einem Zimmer des ersten Stockes 1,08  $\frac{0}{100}$  Kohlensäure vorhanden waren. Aus diesem Kohlensäuregehalt geht hervor, dass im Parterre 4—7  $\frac{0}{100}$ , im ersten Stocke

---

Bodenarten und den betreffenden Einfluss des Wassers. Sitzungsberichte d. Wiener Academie. LXXI.

1) H. WILDT, Ueber die Bodentemperaturen in St. Petersburg u. Nukus. Repertorium f. Meteorologie. VI.

2) J. FORSTER, Untersuchungen über den Zusammenhang der Luft in Boden und Wohnung. Zeitschrift für Biologie. XI. 392.



2% Kellerluft sich beigemischt hatten. Durch Heizen liess sich dieses Eindringen der Kellerluft noch bedeutend vermehren. Der Gehalt der Parterrezimmerluft an Kellerluft stieg dann gar auf 54%, der der Luft im ersten Stocke auf 38% und zeigte dieselben Schwankungen in quantitativer Beziehung, sowohl nach grösseren Perioden, als auch in der täglichen Intensität, wie sie die Bodenniveauluft darbot, nur zeitweilig etwas verspätet.

Mit Rücksicht auf die Luftströmungen zum und im Hause haben wir das Verhältniss der Luft im Hause sowohl zur Aussenluft als auch zur Bodenluft zu berücksichtigen. Im Allgemeinen wird die Luft im Hause der Bodenluft gegenüber eine höhere Temperatur besitzen, denn der Boden zeigt in einer gewissen Tiefe die mittlere Jahrestemperatur an, die von der Lufttemperatur im Hause meist übertroffen wird. Dadurch wird nun in der schweren Bodenluft die Tendenz vorwalten, gegen die leichtere Hausluft hinaufzufließen. Es wird im Allgemeinen ein aufsteigender Luftstrom herrschen. Dieser aufsteigende Luftstrom wird eine Steigerung erfahren, wenn die Temperatur der äusseren Luft eine niedrigere ist, als die des Hauses und wenn die Communication durch den Boden hindurch eine leichtere ist, als durch die Mauern. Wir können dann das Verhältniss so auffassen, als hätten wir zwei miteinander communicirende Luftsäulen, von denen die eine durch die im Hause und in der unmittelbar unter demselben sich befindenden Bodenluft repräsentirt wird, die andere durch die atmosphärische Luft allein. Die Communication selbst erfolgt durch den Boden hindurch, dessen unmittelbar unter dem Hause befindlicher Theil auch wärmer sein wird als der im Freien befindliche \*), die äussere Luftsäule, die kälter und in Folge dessen specifisch schwerer ist, drückt nun durch den Boden hindurch auf die specifisch leichtere Luft im Haus und bringt so die Bodenluft zum Aufsteigen. Je grösser die Temperaturdifferenz zwischen Aussenluft und Zimmerluft und je permeabler der Boden (auch im Verhältniss zum Umfassungsmaterial des Hauses), desto leichter und mächtiger wird das Einströmen der Grundluft ins Haus erfolgen. Für den Fall, dass die äussere Luft wärmer ist, als die des Hauses, wird natürlich das

---

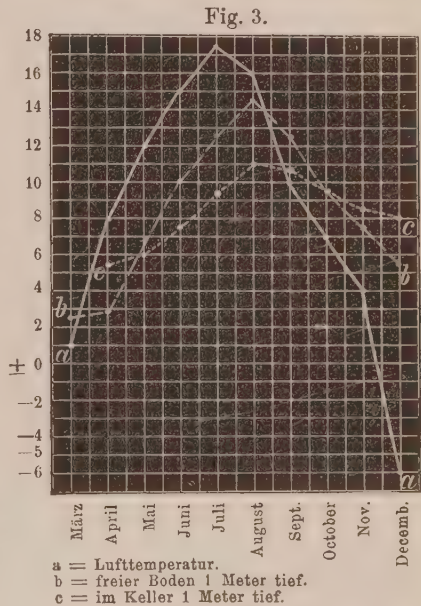
\*) Für den hier angenommenen Fall, dass die äussere Luft eine niedrigere Temperatur besitzt als die Luft im Hause, also für die Wintermonate, ist noch zu berücksichtigen, dass auch die unmittelbar unter dem Hause befindliche Bodenluft dazu beitragen wird, den Effect des Einströmens in das Haus zu steigern. Denn dieser Theil der Bodenluft ist durch das darüber aufgebaute Haus vor der stärkeren Temperaturerniedrigung während des Winters geschützt, wird also eine höhere Temperatur bewahren als die Bodenluft im Freien in gleicher



umgekehrte Verhalten eintreten, die Luft wird durch den Boden hindurch nach aussen drücken. Für diese Thatsachen liegt eine Reihe experimenteller Belege und Erfahrungen vor. Auf indirectem Wege durch Kohlensäurebestimmungen hat dies FODOR <sup>1)</sup> nachzuweisen versucht. In einem Zimmer, welches zu  $\frac{2}{3}$  seiner Höhe in dem Boden vertieft lag, wurde die Kohlensäure durch längere Zeit analysirt. Trotz des ungünstigen Umstandes, dass dieser Raum einen gut gefügten Parquetboden besass, also ein Aufsteigen der Bodenluft erschwert war, führten die Resultate zu der Annahme, dass hier ein Eindringen der Grundluft in das Haus erfolge; die Kohlensäure war

Tiefe. Dem entsprechen auch die vergleichenden Beobachtungen DELBRÜCK's <sup>2)</sup> in Halle über die Temperatur 1' unter der Kellersohle des Strafanstaltslazarethes und im Freien circa 10 Schritt davon in entsprechender Tiefe von 8', die Differenz betrug jedesmal 2,5—3° R., trotzdem das betreffende Lazareth ein verhältnissmässig kleines, ganz freistehendes Haus ist, dessen Corridore etc. nicht geheizt werden.

PFEIFFER <sup>3)</sup> in Weimar hat die Schwankungen der Bodentemperatur durch mehrere Monate verfolgt; die Resultate dieser Beobachtungen sind in nebenstehender Figur graphisch vorgeführt. Leider fehlen die Beobachtungen über zwei der maassgebendsten Monate, Januar und Februar, es ist aber aus dem hier vorliegenden Material ersichtlich, dass der Boden unter dem Hause (im Keller) im Sommer eine tiefere, im Winter eine (bis um 2½°) höhere Temperatur erreicht als unter denselben Bedingungen im Freien; die Ursache hierfür liegt vorzüglich in der verminderten Strahlung (vgl. Cap. IV). Endlich deutet auch der grössere Reichtum an Kohlensäure in der Bodenluft unterhalb des Hauses, wie ihn PORT <sup>4)</sup> constatirt hat, auf höhere Temperaturen, doch wirken hierbei noch andere Factoren mit (vgl. Cap. V).



1) FODOR, Untersuchungen über Luft, Boden und Wasser. 1881.

2) E. DELBRÜCK, Mittheilungen über die Cholera in Halle. Zeitschrift für Biologie. IV. 240.

3) L. PFEIFFER, Einfluss der Bodenwärme auf die Verbreitung und den Verlauf der Cholera. Zeitschrift für Biologie. VII. 295.

4) PORT, Epidemiologische Beobachtungen in der Garnison Münchens. Archiv für Hygiene. I.

im Zimmer durchschnittlich höher, als in der äusseren Luft, stimmte dagegen mit der am Bodenniveau gefundenen ziemlich überein und zeigte dieselben zeitlichen Schwankungen in quantitativer Beziehung, sowohl nach grösseren Perioden, Jahreszeiten, als auch in der täglichen Intensität, wie sie die Bodenniveauluft darbot, nur zeitweilig etwas verspätet.

Direct wird dieser Beweis des Einströmens von Grundluft in das Haus in Folge von Temperaturdifferenzen durch die Untersuchungen RENK's<sup>1)</sup> geliefert. Von diesem wurde mittelst des RECKNAGEL'schen Differenzialmanometers<sup>2)</sup> der Druck der Bodenluft und der Luft im Keller gemessen, bei welchen Messungen fast während des ganzen Jahres sich ein Ueberdruck der Luft unter dem Pflaster der Kellersohle gegenüber dem Druck der Kellerluft constatiren liess, so dass ein Einströmen der Bodenluft ins Haus erfolgen musste. Im Sommer (bei Windstille) war dieser Ueberdruck von Seite der Bodenluft kaum wahrnehmbar, stets dagegen im Winter, was nach dem oben Gesagten leicht verständlich ist. Es lässt sich diese aspirirende Wirkung der Häuser noch durch künstliche Mittel verstärken. In den Versuchen RENK's bewirkte ein im Boden verlaufender Ventilationskanal, welcher mit dem Schlotte der Dampfkesselfeuerung in Verbindung stand, eine eigenthümliche Veränderung in den Druckverhältnissen der Keller- und Bodenluft. Während in den am weitesten von dem Kanale entfernten Stellen die Luft im Boden noch einen Ueberdruck besass gegenüber der Kellerluft, verschwand dieser, je näher man gegen den Kanal kam und endlich stellte sich sogar ein Ueberdruck der Kellerluft gegenüber der Bodenluft heraus, der am grössten war an der Wandung des Kanals. Diese Erscheinung, die sich auf eine Entfernung von 3—10 Meter durch die Wandung des Kanals hindurch bemerkbar machte, kann nur als eine Folge der saugenden Wirkung des Kanals resp. des Schlotes aufgefasst werden, wodurch bis auf eine Entfernung von 5—6 Meter ein Austreten der Bodenluft nicht möglich war, sondern umgekehrt die Luft aus dem Kellerraum in den Boden drang.

STAEBE<sup>3)</sup> suchte bereits vor einiger Zeit diese ansaugende Wirkung der Häuser und deren Kamine dazu zu benützen, um unaufhörlich grosse Mengen frischer, reiner Luft in den Boden zu leiten, die verdrängte Bo-

---

1) RENK, Ueber das Eindringen der Bodenluft in die Häuser. Tageblatt der 54. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte in Salzburg 1891. S. 193.

2) RECKNAGEL, Poggendorf's Annalen 1877. Bd. 2.

3) L. L. STAEBE, Bodenventilation als Schutzmittel gegen Cholera u. Typhus. Magdeburg 1873.

denluft aber an einem vom Menschenverkehr entfernt gelegenen Punkte zum Abfluss in die Atmosphäre zu bringen. Es soll der Bewegung der Grundluft auf diese Weise der Weg genau angegeben und das Haus vor dem Eindringen derselben bewahrt werden. Zu diesem Zwecke sollen vorerst unsere Wohnungen gegen freien Eintritt der Bodenluft überhaupt abgeschlossen werden durch eine Art Betonmauerung, mit welcher die gesammte Basis des Hauses wie mit einem schützenden Deckel umgeben wird und welche an den Umfassungsmauern bis hinauf zur Erdoberfläche reichen muss. Sodann sind sämmtliche Keller, soweit sie unter den Wohnhäusern reichen, 12" hoch auszugraben und sämmtliche in den Kellerwänden liegende Schornsteine des Hauses bis zu dieser Tiefe herabzuführen, gegen den Grund durch dichtes Mauerwerk abzuschliessen und mit jenem 12" hohen Raume durch eine ebenso hohe seitliche Oeffnung in Communication zu setzen, oder es können die Kamine durch besondere gemauerte Kanäle mit dem Kanal in der Kellersohle verbunden werden. Darnach ist der 12" hohe Hohlraum zu wölben, mit einer Betonschicht zu belegen und die nunmehr gewölbte Kellersohle zu planiren.

Die Luftströmung wird bei dieser Anordnung folgendermaassen sich gestalten: Ist die Luft im Kamin wärmer, als die äussere Luft, so wird diese einen Ueberdruck ausüben, welcher sich durch den Boden hindurch ausgleicht. Die äussere Luft wird also die Bodenluft in den Kamin hineindrücken und an die Stelle der Bodenluft eintreten. Und da die in den Schornstein eintretende Luft sogleich erwärmt wird, so wird sich eine vollständige Luftcirculation etabliren. Im Sommer dürfte nun der Fall eintreten, dass die Temperatur der äusseren Luft eine höhere ist, als die des Schornsteins, den Küchenschornstein vielleicht ausgenommen; da könnte sich dann die Luftströmung umkehren und die Bodenluft in unmittelbarer Nähe des Hauses, in Höfen u. dgl. an die Oberfläche treten. Um nun auch im Sommer der Bodenluft den Austritt durch den Kamin anzuweisen, schlägt deshalb STAEBE die Errichtung eines besonderen Schornsteines mit nicht zu kleinem Querschnitt vor, welcher einen von der Küche aus zu heizenden Feuerherd birgt. Nach den Vorschlägen STAEBE's bedürfen

Hohlräume bis zu	300	□	Meter	Boden	2	Schornsteine	
"	"	"	600	"	"	3	"
"	"	"	900	"	"	4	"
"	"	"	1,200	"	"	5	" u. s. f.

Dem Schornstein selbst gibt er durchgehends eine lichte Weite von 0,15 Met.

Es ist hier nicht der Ort, diese Vorschläge, die bereits die Hygiene der Wohnung berühren, ausführlich zu discutiren. Vom theoretischen Standpunkte aus kann nach dem früher Ausgeführten die Möglichkeit einer solchen Ableitung der Grundluft nicht bezweifelt werden, vorausgesetzt, dass der Boden die nöthige Permeabilität besitzt und dass die technische Ausführung eine vollkommene ist. An letzterer liegt allerdings sehr viel. Ist z. B. der luftdichte Abschluss der Kellersohle unvollkommen und die Verbindung des Kamins mit dem Hohlraume in der Kellersohle keine dichte, so kann das Gegenheil von dem gewünschten Effecte eintreten. Der Kamin wird die Luft aus dem Keller abführen, in diesem einen negativen Druck erzeugen, wo dann die Bodenluft erst recht in den Keller einströmen wird.



An diese durch Temperaturdifferenzen hervorgerufene Strömungen der Grundluft müssen sich jene Vorkommnisse anschliessen, bei denen Leuchtgas unterirdisch auf weite Strecken sich verbreitet und schliesslich in die Häuser, in bewohnte Räume dringt und dort zu Vergiftungen Veranlassung gibt. Derartige Gasausströmungen, bei denen das Gas gewöhnlich nicht an Ort und Stelle des Röhrenbruchs austritt, sondern grössere Strecken bis zu 30 Meter im Boden zurücklegen musste, ereignen sich, was zuerst von PETTENKOFER besonders hervorgehoben wurde, fast ausschliesslich im Winter. Hierbei ist die Wanderung, die das Gas zu unternehmen hat, oft eine recht umständliche. So in dem von COBELLI<sup>1)</sup> beschriebenen Falle, in dem drei Personen einer Gasvergiftung zum Opfer gefallen waren. Die Gasausströmung in den Boden erfolgte am 2. Januar 1875. Das Gas verbreitete sich von der in einer Tiefe von 0,8 Meter gelegenen Austrittsstelle in horizontaler Richtung in dem in Folge der früheren Lagerung eines Gasrohres bereits aufgelockerten Boden gegen die Umfassungsmauern des betreffenden Hauses, das selbst keine Gasleitung besass, so einen Weg von 2,67 Meter zurücklegend, schwängerte die ganze Hälfte desselben, welche in Verbindung mit dem von der vergifteten Familie bewohnten Flügel stand und erreichte so diesen Flügel nach Durchlaufung eines 4,77 Meter langen Weges. Hier drang es durch die Ritzen der Mauer, einen Weg von 3 Meter zurücklegend und gelangte endlich in das Zimmer, in dem die Familie schlief, und zugleich in das darunter befindliche Gewölbe. Es hatte also im Ganzen einen Weg von 10,44 Meter Länge zurückgelegt. Während des strengen Winters 1879/80 wurden in Breslau nach dem officiellen Berichte der dortigen Gasanstalt im Verlauf von 6 Wochen (vom 17. December bis 27. Januar) nicht weniger als 10 bewohnte Localitäten constatirt, in welchen solche zu Vergiftungserscheinungen führende Gasausströmungen stattfanden und gerade in den schwersten Fällen war in den betreffenden Häusern eine Gasleitung überhaupt nicht vorhanden; allen aber war gemeinsam, dass das Gas aus gebrochenen Röhren der Strassenleitung stammte, deren Bruchstellen in einzelnen Fällen sich 10—27 Meter in der Luftlinie von den betreffenden Erdgeschoss- und Kellerwohnungen befanden.<sup>2)</sup> In einem Falle, den HOFMANN<sup>3)</sup> beschreibt, wurden im Winter 1879

1) R. COBELLI, Vergiftung der Familie Caimi in Roveredo durch Leuchtgas. Zeitschr. f. Biologie. XII. 1.

2) R. BIEFEL u. Th. POLECK, Ueber Kohlendunst- und Leuchtgasvergiftung. Zeitschr. f. Biol. XVI. 314.

3) HOFMANN, Ueber Kohlenoxydvergiftung. Wiener medic. Presse. 1879. 411.



19 Arbeiter vergiftet, die einen Keller als gemeinschaftliche Schlafstelle benutzten und zu dem das Leuchtgas erst nach Durchwanderung einer Strecke von 10,35 Meter gelangen konnte. Auch LAYET<sup>1)</sup> beschreibt ähnliche Fälle.

In den unmittelbar vorhergegangenen Ausführungen über die Luftbewegung aus dem Boden liegen die Ursachen für diese Erscheinungen. Diese horizontale Strömung des Gases wird wohl dadurch bereits unterstützt, dass die oberflächlichsten, im Stadium des Frostes befindlichen Bodenschichten einem Hindurchtreten des Gases nach oben etwas grösseren Widerstand leisten, der aber in den meisten Fällen nicht bis zur Impermeabilität des Bodens führt (vgl. S. 49). Den wesentlichsten Einfluss hat aber nach PETTENKOFER<sup>2)</sup> die aspirirende Wirkung unserer erwärmten Häuser resp. Wohnungen, die wie eine Art Saugpumpe auf den Boden aufgesetzt sind und die Bodenluft und mit ihr das Gas ansaugen. In dem von PETTENKOFER beschriebenen Fall in Augsburg, der sich im December 1859 ereignete und bei dem das Gas 20' von der Bruchstelle des Rohres entfernt zum Austritt kam und zu Vergiftungserscheinungen führte, war es gerade das erwärmte Zimmer, in dem die Gaseinströmung zu Stande kam. Je mehr in diesem Zimmer geheizt wurde, desto stärker war das Eindringen des Gases. Als dagegen dieses Zimmer verlassen worden war und deshalb ungeheizt blieb, dagegen das benachbarte noch geheizt wurde, hörte die Gasausströmung in dem ersten Zimmer völlig auf, stellte sich dagegen in dem nun erwärmten zweiten Zimmer ein.

Es ist also nur der durch Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen herbeigeführte negative Druck im Innern des Hauses, der dieses Ansaugen des Gases hervorruft und der auch umgekehrt, durch plötzliche Erniedrigung der Aussentemperatur, herbeigeführt werden kann, wie dies im Falle Caimi geschah.

Auf experimentellem Wege erhärtete WELITSCHKOWSKY<sup>3)</sup> diese Annahme. Er leitete Gas in den Boden mittelst schmiedeeiserner Röhren, die bis zu 2 Meter Tiefe in den Boden eingeschlagen waren. Rings um diese Röhren waren in Abständen von je 1 Meter eben

---

1) LAYET, Des accidents causées par la pénétration souterraine du gaz d'éclairage ... Revue d'Hygiène 1880.

2) M. v. PETTENKOFER, Beziehungen der Luft zu Kleidung, Wohnung und Boden. Populäre Vorträge. I. Heft. S. 114.

3) M. v. PETTENKOFER, Ueber Vergiftung mit Leuchtgas. Sitzungsberichte der k. bayer. Akademie der Wissenschaften 1883, und D. WELITCHKOWSKY, Experimentelle Untersuchungen über die Verbreitung des Leuchtgases und des Kohlenoxyds im Boden. Archiv für Hygiene. I.

solche Röhren bis zu gleicher Tiefe eingeschlagen, aus welchen Bodenluft zur Untersuchung entnommen werden konnte. Wurde nun durch die im Mittelpunkte befindliche Röhre Gas eingeleitet, so verbreitete sich dasselbe bei Sommertemperatur ziemlich gleichmässig ringsum, bei Wintertemperatur hingegen (bei einer Temperatur z. B. von  $0^{\circ}$  im Freien und  $+16^{\circ}$  C. im Hause) erfolgte die Verbreitung nur in der Richtung zum Hause zu; die stärkste Strömung erfolgte im Winter in der Richtung nach dem in einem Kellerraume liegenden, zu Heizzwecken dienenden Dampfkessel. Luft aus Röhren, welche in entgegengesetzter Richtung eingeschlagen waren, liessen bei dieser Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen meist gar keine oder nur sehr unbedeutende Mengen Leuchtgas nachweisen. Hiermit ist der experimentelle Nachweis für die Aspiration von Leuchtgas und also auch von Bodenluft in Folge von Temperaturdifferenz geliefert und PETTENKOFER knüpft hieran noch die praktische Nutzenanwendung in Bezug auf die Verhütung solcher Gasausströmungen bei Rohrbrüchen. Als radikales Mittel muss selbstverständlich die Abhaltung der Leuchtgasströmung nach dem Hause gelten; diese kann aber leicht durch Oeffnung der Kellerfenster oder Fenster im Erdgeschosse der bedrohten Häuser erzielt werden. In diesem Falle wird der negative Druck vom Hause direct ausgeglichen; es dringt die äussere schwerere Atmosphäre nicht mehr durch den Boden hindurch in die Häuser und nimmt das daselbst befindliche Leuchtgas mit, sondern sie strömt direct durch die Fenster ein und verdünnt auch noch das unvermeidlich sich beimischende Gas bis zum Grade der Unschädlichkeit. Und mit der eintretenden Abkühlung der Binnenluft des Hauses wird auch der negative Druck aufgehoben oder wenigstens herabgemindert.

3. Zu den die Bewegung der Grundluft und das Eindringen in die Häuser wesentlich beeinflussenden Momenten gehört noch die Windbewegung. Schon WOLFFHÜGEL kam bei seinen S. 52 erwähnten Versuchen zu dem Resultate, dass dem Sturm und selbst den schwächeren Windbewegungen im Freien ein beständiges Wogen der Luft im Boden entspricht und dass die Luftbewegung im Freien ein beständiges Auswaschen der Grundluft mit atmosphärischer Luft voraussetzt. Mit Bezug auf das unter solchen Verhältnissen stattfindende Eindringen von Bodenluft ins Haus constatirte RENK <sup>1)</sup>, dass die Luft aus dem Boden unter höherem Drucke in das Haus einströmt, wenn

---

1) F. RENK, Ueber das Eindringen der Bodenluft in die Häuser. Tageblatt der 54. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte. Salzburg 1881. S. 193.

äussere Windbewegung stattfindet, als bei Windstille. Die Erklärung für diese Thatsache dürfte sich folgendermaassen gestalten: Der Wind, der die Bodenoberfläche trifft, wird gerade von jener Stelle, die vom Hause eingenommen wird, durch die Wände abgehalten (vorausgesetzt, dass diese weniger permeabel sind, als der Erdboden), während er in dem Boden unter dem Hause durch die unterirdische Communication sich weiter ausbreiten kann und sich dann der Luft des Hauses gegenüber als Druck geltend machen muss. Dasselbe wird auch im Boden erfolgen müssen, nur die vom Haus bedeckte Stelle wird von einem solchen directen Drucke bewahrt sein und es wird also nach dieser Richtung hin die Bodenluft zuströmen und sich als Ueberdruck gegenüber dem Drucke im Hause geltend machen. Dass dem so ist, ist aus folgenden Beobachtungen RENK's ersichtlich: Wurde in seinen Versuchen durch Oeffnen einer Thüre oder eines Fensters dem Winde der Eintritt in den Kellerraum gewährt, so ergab sich das umgekehrte Verhältniss, die Kellerluft wies dann einen höheren Druck auf, als die Luft im Boden. Der Wind, der nun in das Haus eintreten konnte, und zwar, ohne dass er zuvor jenen grossen Widerstand zu überwinden gehabt hätte, der sich im Boden findet, liess einen Ueberdruck von Seite der Bodenluft nicht aufkommen; ja im Gegentheil, da sich im Keller die eintretende Luft doch an den Wänden staute, die Geschwindigkeit sich in Folge dessen in Druck umwandeln musste, so trat das umgekehrte Verhalten ein.

4. Endlich ist auch der Einfluss des auf den Boden auffallenden oder im Boden befindlichen Wassers zu beachten. Das auf den Boden auffallende Wasser wird in erster Linie eine Verstopfung der oberflächlichen Poren bewirken, also einen Austausch zwischen Bodenluft und atmosphärischer Luft verhindern. In den Regenmonaten konnten LEWIS und CUNINGHAM<sup>1)</sup> in Indien eine bedeutende Zunahme der Kohlensäure im Boden constatiren, die unabhängig von der Bodentemperatur und unabhängig von der durch die Feuchtigkeit hervorgerufene Steigerung der Production nur dadurch zu erklären war, dass durch den Regen die Poren der oberen Bodenschichten verlegt werden und dadurch die Bodenventilation behindert wird. Dieser Vorgang wird jedoch zur Folge haben, dass an jenen Stellen, wo keine Befeuchtung der Oberfläche eintritt, also gerade an jenen Stellen, wo der Boden mit den Häusern communicirt, ein gesteigerter Austritt der Luft statthaben kann, insbesondere auch deshalb, weil

1) T. R. LEWIS and D. D. CUNINGHAM, Cholera in relation to certain physical phenomena. Thirteenth annual report of the sanitary commissioner with the government of India. 1877.

ja durch das in den Boden eindringende Wasser Luft verdrängt werden muss.

In anderer Weise, von unten her, kann eine Bewegung der Grundluft veranlasst werden durch die Schwankungen des im Boden befindlichen Grundwassers. Ein Ansteigen desselben, eine Erhebung seines Niveau's, besonders wenn sie durch unterirdische Zuflüsse bedingt ist, wird eine Verdrängung der Luft, einen Austritt aus dem Boden zur Folge haben, ein Fallen desselben zum Eindringen der atmosphärischen Luft in den Boden führen. Da im Allgemeinen die Schwankungen des Grundwassers sehr allmählich erfolgen, so werden diese Bewegungen der Grundluft einen so langsamen Gang einschlagen, dass sie sich unserer Beobachtung vorerst entziehen.

Aus diesen Darlegungen geht hervor, dass es vorwiegend Druckdifferenzen sind, die als bewegende Kraft für die Bodenluft figuriren. Es war deshalb von Wichtigkeit, das Gesetz zu kennen, nach welchem die Luftbewegung im Boden bei wechselndem Druck erfolgt. In den Ergebnissen der hierauf gerichteten Versuche begegnen wir aber grossen Widersprüchen. Während FLECK<sup>1)</sup> (S. 42) findet, dass die Ausströmungszeiten gegebener gleicher Luftmengen bei gleicher Höhe der Bodenschichten dem Manometerstande umgekehrt proportional sind, findet RENK<sup>2)</sup>, dass eine solche direkte Proportionalität überhaupt nur innerhalb niedriger Druckgrenzen stattfindet (so lange die absolute Luftgeschwindigkeit nicht 0,062 Meter pro Secunde übersteigt) und dass sie ferner nur bei feinkörnigem Material (Mittel- und Feinsand) statt hat, bei grobkörnigem Material dagegen nur bei Anwendung hoher Schichten. Dagegen gelangt wieder AMMON<sup>3)</sup> zu dem Ergebniss, dass das direkte Verhältniss zwischen Druck und Quantität der geförderten Luft nur bei grobkörnigem Material wachse.

WELITSCHKOWSKY<sup>4)</sup> sucht diese Widersprüche aufzuklären, er hat diese Beziehungen zwischen Druck und Permeabilität in eine mathematische Formel gebracht. Bei Versuchen, die er mit Münchener Kiesboden (Grobsand, Korngrösse 1—2 Mm.) anstellte und bei denen er den Druck, unter dem Luft durchströmte, von 10—160 Mm. H<sub>2</sub>O variierte, gewann er folgende Werthe:

Druck in Mm. Wasser	10	20	30	40	50	60	70	80
Geförderte Luftmenge pro 1 Minute in Litern	1,628	3,118	4,567	5,996	7,399	8,802	10,212	11,490
Druck in Mm. Wasser	90	100	110	120	130	140	150	160
Geförderte Luftmenge pro 1 Minute in Litern	12,985	14,202	15,410	16,826	18,088	19,647	20,803	22,061

1) FLECK, Ueber ein neues Verfahren zu Durchlässigkeitsbestimmung von Bodenarten. Zeitschrift für Biologie. XVI.

2) RENK I. c.

3) AMMON, Untersuchungen über die Permeabilität des Bodens für Luft. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. III.

4) WELITSCHKOWSKY, Beitrag zur Kenntniss der Permeabilität des Bodens. Archiv für Hygiene. II.



Vergleicht man die beiden Reihen miteinander, so findet man, dass in jenen Fällen, wo sich der Druck verdoppelt, die Luftmenge zwar auch zunimmt, aber um etwas weniger als das Doppelte, doch bleibt dieses Verhältniss der Zunahme ein ziemlich constantes. Die Berechnung ergibt, dass die der Verdoppelung des Druckes entsprechende Zunahme der geförderten Luftmenge das 1,919fache beträgt (es sind Schwankungen von 1,912 zu 1,924).

Bei jeder Vergrösserung des Druckes um das Doppelte wächst die Menge der durchströmenden Luft in diesem Falle durchschnittlich 1,919 mal.

Es ist dies so aufzufassen, dass, während die pressenden Kräfte die natürliche Zahlenreihe vorstellen, die ihnen entsprechenden Mengen der durchströmenden Luft sich als eine Function dieser Reihe ergeben. Wenn wir die Drucke mit  $x_1, x_2, x_3, x_4$  u. s. w. bezeichnen, die entsprechenden Bestimmungen mit  $y_1, y_2, y_3 \dots$  und die Grösse  $y$  als eine Function von  $x$  auszudrücken suchen, so werden wir annehmen müssen, dass

$$\begin{array}{l} \text{bei } x_1 \text{ Druck } n \text{ Liter Luft} \\ \text{bei } x_2 \quad \quad \quad n_1 \quad \quad \quad \text{etc.} \end{array}$$

gefördert werden. Nach W.'s Versuchsreihe kann man aber mit hinlänglicher Sicherheit  $\frac{n_1}{n} = \frac{n_2}{n_1} =$  als eine Constante  $A$  ansehen, so dass man erhält: (die Zahlen in den Klammern stellen nur eine andere Schreibweise der nebenstehenden Grössen dar)

$$\begin{array}{ll} x_1 [x(2^0)] = 1 (2^0) & y_1 [y(2^0)] = n \\ x_2 [x(2^1)] = 2 (2^1) & y_2 [y(2^1)] = n A \\ x_4 [x(2^2)] = 4 (2^2) & y_4 [y(2^2)] = n A^2 \\ x_8 [x(2^3)] = 8 (2^3) & y_8 [y(2^3)] = n A^3 \\ x_{16} [x(2^4)] = 16 (2^4) & y_{16} [y(2^4)] = n A^4 \end{array}$$

also allgemein sei

$$x(2^\mu) = 2^\mu \quad . \quad . \quad 1. \quad \quad y(2^\mu) = n A^\mu \quad . \quad . \quad . \quad 2.$$

Aus Gleichung 1 kann  $\mu$  bestimmt werden

$$\mu = \frac{\log x(2^\mu)}{\log 2}$$

dieser Werth in Gleichung 2 eingesetzt ergibt

$$y(2^\mu) = n A \frac{\log x(2^\mu)}{\log 2}$$

oder allgemein:

$$Y_m = n A \frac{\log x_m}{\log 2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3.$$

Nach dieser Gleichung ist es möglich, aus einer mit der Maasseinheit vorgenommenen Beobachtung die anderen zu erwartenden Resultate zu berechnen; WELITSCHKOWSKY's Versuche lassen es ihm auch wahrscheinlich erscheinen, dass die durch diese Formel ausgedrückte Abhängigkeit der Permeabilitätsgrösse vom Drucke auch bei verschiedenen Bodenarten und bei verschiedener Höhe der Schicht ihre Geltung behält.

Ferner findet WELITSCHKOWSKY, dass in analoger Weise mit dem Anwachsen der Höhe der Bodenschicht die ausströmende Luftmenge in kleinerem Verhältnisse abnimmt, als die Höhe der Schicht wächst.

Es wäre nun ausserordentlich wichtig, nähere Daten über die wirkliche Intensität der Luftbewegung im Boden und aus demselben heraus zu besitzen. Doch fehlt es über diesen Punkt fast vollständig an verwerthbaren Angaben. Ein Maassstab liesse sich vielleicht noch aus den bereits citirten Versuchen RENK's gewinnen. Er bestimmte ja den Ueberdruck, der im Boden geherrscht, mittelst des sehr empfindlichen RECKNAGEL'schen Differentialmanometers. Die Grössen, die er fand, sind natürlich ausserordentlich schwankende, da ja die Bedingungen für den Druck der Bodenluft sehr wechselnde sind; während z. B. bei ruhigem Wetter im Juni der Ueberdruck nur 0,02—0,05 Mm. Wasserhöhe betrug, stieg er am selben Tage Nachmittags, als ein strömender Regen eintrat, auf 0,32—0,75 Mm. Wasserhöhe. Aus diesen Angaben für den Druck können wir nun auf die Geschwindigkeit schliessen, mit der die Luft ins Haus strömen würde, wenn plötzlich die den Austritt der Luft so sehr beschränkende Kellerpflasterung weggenommen wäre. Die Kraft, welche die bewegte Luft ausübt, ist proportional dem Producte aus der Masse der bewegten Luft in das Quadrat der Geschwindigkeit der Bewegung.

$$p = \frac{1}{2} m v^2 \text{ (RECKNAGEL).}^1)$$

Hierbei bedeutet  $p$  den Druck in Kilogramm auf 1 □Meter oder die Höhe der getragenen Wassersäule in Millimetern;  $m$  die Masse eines Cubikmeters Luft, d. i. das Gewicht eines Cubikmeters Luft dividirt durch die Beschleunigung (bei  $0^\circ \times 760$  Mm. Barometerstand  $= \frac{1,293}{9,81} = 0,1318$ ).

Die uns unbekannte Grösse  $v$ , die Geschwindigkeit, ergibt sich aus obiger Gleichung.

$$v = \sqrt{\frac{2p}{m}} = \sqrt{\frac{2p}{0,1318}} = \sqrt{15,1 p}.$$

An dem oben erwähnten Tage fanden sich bei der Beobachtung folgende Schwankungen:

Witterung	Wasserdruck im Boden ( $p$ )	Entsprechende Geschwindigkeit ( $v$ in Metern)
NW. 2.	0,02 Mm. = 0,00002 Meter	0,017
	0,04 „ = 0,00004 „	0,024
	0,05 „ = 0,00005 „	0,027
Sturm	0,32 „ = 0,00032 „	0,069
Regen	0,65 „ = 0,00065 „	0,099
Gewitter	0,75 „ = 0,00075 „	0,106.

Diese Beobachtungen sind noch zu vereinzelt, zu spärlich, um zu practischen Folgerungen führen zu können. Ausserdem wird die

1) Poggendorf's Annalen 1880.

Reibung, der Widerstand im Boden sehr modificirend einwirken. Eines sei aber mit Rücksicht auf die Frage, ob Spaltpilze auf diese Weise aus dem Boden in die Luft gelangen können, hervorgehoben. Die Geschwindigkeiten, die sich hier ergeben, sind jedenfalls hinreichend, um einen derartigen Transport zu vermitteln.<sup>1)</sup> Wird ein Luftstrom durch eine Spaltpilze enthaltende Flüssigkeit geleitet, so genügt eine Luftgeschwindigkeit von 0,008 und noch viel weniger, um Spaltpilze auf weitere Strecken fortzuführen.<sup>2)</sup>

Es wird dieser Gegenstand in einem späteren Capitel seine gesonderte Behandlung finden; mit Rücksicht auf die Bedeutung der Luftströmungen sei nur hervorgehoben, dass die Spaltpilze hierbei wohl nie als einzelne Individuen in Frage kommen, sondern als Bestandtheile von eingetrockneten Flüssigkeitsresten, als gröbere und feinere Partikelchen, die also schon auf eine etwas grössere Geschwindigkeit Anspruch machen. Es geht dies auch aus den Versuchen HESSE's<sup>3)</sup> hervor, die zu dem paradoxen, aber auf Grund dieser Erwägungen leicht verständlichen Resultate führten, dass die viel grösseren Schimmelpilze, die eben vereinzelt vorkommen, weiter transportirt werden, also leichter schwebend erhalten werden und ferner feinere Poren überwinden, als die viel kleineren Spaltpilze, die als Conglomerate auftreten.

#### IV. Bodenluft (Grundluft).

Bisher sind wir im Allgemeinen von der Annahme ausgegangen, dass die Luft im Boden ihrer Zusammensetzung nach der atmosphärischen gleich sei. Dies gilt jedoch nicht immer oder besser nur in seltenen Fällen, meist unterscheidet sich die Bodenluft von der atmosphärischen Luft sowohl nach ihrer qualitativen als auch quantitativen Zusammensetzung. Wir sehen hierbei von jenen Gasausströmungen, wie sie durch Defectwerden der Gasleitungen hervorgerufen werden, ab. Es erscheinen in der Bodenluft verschiedene Gase als Producte der Zersetzung organischer Substanzen, als Folgen der Lebensthätigkeit niederer Organismen, endlich auch als das Resultat vulkanischer Processe.

Die auf vulkanischer Grundlage auftretenden Bodengase treten meist in Gegenden auf, die durch ihren anderweitigen bedrohlichen Cha-

1) SOYKA, Ueber den Uebergang von Spaltpilzen in die Luft. Sitzungsberichte der k. bayr. Akademie der Wissenschaften. 1879.

2) NÄGELI, Ueber Bewegung kleinster Körperchen. Ebenda. 1880.

3) HESSE, Ueber quantitative Bestimmung der in der Luft enthaltenen Mikroorganismen. Mittheilungen des k. d. Gesundheitsamtes II, und Deutsche medicinische Wochenschrift. 1884.

rakter der menschlichen Ansiedelung Hindernisse in den Weg legen, und deshalb weniger Aufgabe hygienischer Vorsorge zu sein brauchen.

Je nach dem vorwiegenden Bestandtheil der entweichenden Gase unterscheidet man Fumarolen, bei welchem Wasserdampf das vorwaltende Material bildet, aber auch sonst Vehikel ist für andere flüchtige Stoffe, wie schweflige-, Salz- und Borsäure, Chlorverbindungen (in Island), Solfataren, wo ein Gemisch von Wasser- und Schwefeldämpfen (auch Schwefelwasserstoff und schweflige Säure) vorwiegt, und endlich Mofetten, Kohlensäuregasquellen, bei denen die Quelle der Kohlensäurebildung in der Zersetzung von Kalkstein oder anderen Carbonaten durch Kieselsäure unter Einfluss von hoher Temperatur und Wasser zu suchen ist <sup>1)</sup>.

Auch jene, als Producte der Zersetzung vegetabilischer Substanz auftretenden Gasquellen, die aus dem Verkohlungsprocesse von Holz hervorgehen und zur Ausströmung von Kohlensäure, Sumpfgas, ölbildendem Gas und Schwefelwasserstoff führen, haben aus denselben Gründen nur wenig Bedeutung für uns. Die Kohlenwasserstoffquellen geben, in Brand gesteckt, mitunter sehr mächtige Flammen von bald geringer, bald mächtiger Leuchtkraft <sup>2)</sup>.

Von den im Boden nachweisbaren Gasen kommt in erster Linie die Kohlensäure in Betracht. Ihr Vorkommen ist der Gegenstand vieler eingehender Untersuchungen geworden (PETTENKOFER, FODOR, FLECK, WOLFFHÜGEL, WOLLNY u. A.). Die Processe denen sie ihre Entstehung verdankt, haben jedoch mit Rücksicht auf die Bodenverunreinigung und auf die Entwicklung und die Lebensthätigkeit niederer Organismen so grosse Bedeutung, dass wir diesen Gegenstand erst bei Gelegenheit dieser Fragen einer ausführlichen, gesonderten Besprechung unterziehen müssen (Cap. V u. VI).

Als ein Product der Zersetzung stickstoffhaltiger Substanzen findet sich sodann Ammoniak im Boden vor. FODOR <sup>3)</sup> fand einen Gehalt von 0,0089—0,0471 Mgrm. pro Cubikmeter. In den Versuchen RINCK's <sup>4)</sup> schwankte der Ammoniakgehalt zwischen 1,09—1,20 pro mille, dem Volumen nach.

Als Quelle des Ammoniak sind organische stickstoffhaltige Substanzen zu betrachten; sowohl thierischen als auch pflanzlichen Ursprungs, wenn auch erstere eine grössere Ammoniakproduction herbeiführen. Nach einer Durchtränkung des Bodens mit Harn stieg der Ammoniakgehalt der Grundluft bis auf 2,19 Volumen pro mille (RINCK). Besonders in jenen Bodenarten, die viel humöse Substanzen besitzen, scheint sich Ammoniak reichlich zu bilden, so in Torf.

1) HANN, HOCHSTETTER und POKORNY, Allgem. Erdkunde. 1881. S. 280.

2) CREDNER, Elemente der Geologie. 1872. S. 195.

3) FODOR, Hygienische Untersuchungen über Luft, Boden und Wasser. Braunschweig 1881.

4) RINCK, Enthält die Grundluft Ammoniak? Sitzungsberichte der physikal.-medecin. Societät zu Erlangen. 1880. 12. Heft. S. 119.



Während z. B. im Kiesboden die stickstoffhaltigen Substanzen sich leicht und rasch in salpetrige und Salpetersäure umwandeln, erscheint in sehr humusreichem Boden, in Torfboden, an Stelle dieser Oxydationsproducte das Ammoniak <sup>1)</sup>; zum Theile wohl deshalb, weil bei der Durchtränkung des Bodens mit Wasser alle Luft vollständig verdrängt wird; die Materialien quellen hierbei sehr bedeutend auf und verschliessen alle Poren. Auch ohne directe Zufuhr von organischen Stoffen bildet sich unter diesen Umständen im Boden Ammoniak aus den stickstoffhaltigen Substanzen des Bodens selbst. Ausser Ammoniak ist auch Schwefelwasserstoff mitunter im Boden nachzuweisen, ebenfalls als Zersetzungsproduct der Producte der faulenden organischen Substanzen, oder als Folge der Reduction von schwefelsauren Salzen. Es ist vom Torfe nachgewiesen, dass derselbe, wenn er unter Wasser aufbewahrt wird, zur Bildung von Schwefelwasserstoff führen kann <sup>2)</sup>.

Auch Kohlenwasserstoffe sind, besonders in Sumpfterrain, nachgewiesen worden (NICHOLS <sup>3)</sup>). HOPPE-SEYLER <sup>4)</sup> macht auf die reichliche Methanentwicklung in einem mit Wasser durchtränkten Boden aufmerksam.

Diese Anwesenheit von Gasen, insbesondere der hohe Kohlensäuregehalt der Grundluft, muss das Procentverhältniss zwischen Sauerstoff und Stickstoff wesentlich alteriren, und in der That ergeben die Analysen der Bodenluft eine wesentliche, relative Verarmung an Sauerstoff. FLECK <sup>5)</sup> sah den Sauerstoffgehalt der Bodenluft mit Zunahme der Tiefe und des Kohlensäuregehaltes auf 15% (in 6 Meter Tiefe) sich herabmindern, FODOR <sup>6)</sup> in 4 Meter Tiefe auf 17,3. Diese Herabminderung des Sauerstoffgehaltes ist aber nicht bloß eine relative, insofern eine andere Gasart beigemischt erscheint, sondern auch eine absolute, indem Sauerstoff wirklich verbraucht wird. Dieser Verbrauch von Sauerstoff ist theils auf die Lebensthätigkeit niederer Organismen zurückzuführen, durch deren Vermittelung Oxydation meist organischer Substanzen und schliesslich Kohlensäure- und Salpetersäurebildung erfolgen, theils auf die Anwesenheit leicht oxy-

1) SOYKA, Experimentelle Untersuchungen zur Canalisation. III. Die Selbstreinigung des Bodens. München 1885.

2) A. PAGEL und W. THILO OSWALD, Untersuchungen über Moorcultur. Landwirtschaftliches Jahrbuch VI. 1877. I. Supplement. 3) NICHOLS, Observations on the composition of the Ground atmosphere. Boston 1876.

4) HOPPE-SEYLER, Ueber Gährung der Cellulose mit Bildung von Methan und Kohlensäure. Zeitschrift für physiolog. Chemie. X.

5) FLECK, Boden- und Bodengasuntersuchungen. II. Jahresbericht der chem. Centralstelle f. öffentl. Gesundheitspflege in Dresden. 1873. 6) FODOR l. c.

dabler, unorganischer Verbindungen im Boden, die den Sauerstoff leicht aufnehmen; auf diese Weise muss im Boden allmählich der O-Gehalt mit der Tiefe abnehmen und schliesslich vollständig verschwinden. HOPPE-SEYLER<sup>1)</sup> führt diesen Vorgang und die daran sich knüpfenden Gesichtspunkte in folgender Weise aus:

„Da das Innere der Erde dem Sauerstoff entzogen zu sein scheint, so muss es an jedem Orte der Erdoberfläche eine erkennbare Grenze geben, bis zu welcher der Sauerstoff vordringt. Wenn in den mit Wasser durchfeuchteten oberflächlichen Schichten Prozesse verlaufen, welche sich mit der Fäulniss und Fermentwirkung, die zur Absorption von Sauerstoff in den oberflächlichen Schichten führt, vergleichen lassen, so wird diese Grenze je nach der Temperatur, dem Sauerstoffdruck an der Berührungsfläche und der Quantität des vorhandenen Ferments variirend bald höher bald tiefer liegen können. Sie wird, alles übrige gleichgesetzt, unter fließendem Wasser, welches mit der Luft in Berührung steht, tiefer liegen als unter stagnirendem, und sie wird bei reichem Gehalte von stagnirendem Wasser an fäulnissfähigen Substanzen in den Wasserschichten, über den Boden hinauf rücken können.

Die Feststellung der Grenzfläche, bis zu welcher der Sauerstoff der Atmosphäre eindringt, kann an den meisten Orten ohne complicirte Apparate und ohne schwierige Untersuchungen ausgeführt werden, ja soweit, abgesehen von Silikaten, Eisenverbindungen im Boden enthalten sind, genügen der Anblick und einige schnell ausführbare Proben, diese Grenze schnell mit Sicherheit aufzufinden. Die Bildung von Sumpfgas, von Schwefelwasserstoff, Eisencarbonat, Eisensulfüren und an der Luft sich blau färbendem Phosphat charakterisirt die Schichten, zu denen Sauerstoff keinen Zutritt hat; während die Bildung von Eisenoxydhydrat nur soweit hinabreicht, als freier Sauerstoff vorhanden ist. Da nun geringe Quantitäten von Eisen an der Erdoberfläche sehr allgemein verbreitet sind, so ist es fast überall leicht, diese Grenze schnell festzustellen.

Es ist ein grosser Einfluss, den niedrige Organismen hinsichtlich der Reduction der Eisenverbindungen und der Sulphate auf die chemische Umgestaltung ausüben, welche die geologischen Formationen in der Nähe der Erdoberfläche erleiden; ohne Schwierigkeiten kann man künstlich an Versuchen diese Prozesse der Reduction durch niedrige Organismen verfolgen und die Einwirkung des Sauerstoffs auf die Reductionsproducte nachweisen.

In der Natur sehen wir, dass z. B. beim Einstich in den feuchten thonigen Schlamm von Seen, Stümpfen, derselbe, mag seine Oberfläche grün, roth oder sonst wie gefärbt sein, wenige Millimeter unter der Oberfläche schwarz gefärbt ist. Lässt man die beim Einstechen neugebildete Oberfläche kurze Zeit der Luft ausgesetzt liegen, so hat sich bald die schwarze Farbe verloren, die neue Oberfläche sieht aus wie die übrige. Es verhält der Schlamm sich sehr ähnlich, wie ein faules Stück Fleisch, welches auf der Schnittfläche zunächst eine dunkelweisse Färbung zeigt, nach kurzer Einwirkung des atmosphärischen Sauerstoffs auf Hämoglobin an der Schnitt-

1) HOPPE-SEYLER, Ueber die Einwirkung des Sauerstoffs auf Gährungen. Festschrift zur Feier des 25jähr. Bestehens des pathologischen Instituts zu Berlin.

fläche des Fleisches bei Gegenwart von Schwefelwasserstoff durch das gebildete Schwefelmethämoglobin die Farbe der übrigen Oberfläche annimmt.

Es ist kaum zu bezweifeln, dass die Beachtung der Verschiedenheit der oberhalb und unterhalb der Sauerstoffgrenzfläche im Boden und Grundwasser verlaufenden Processe, so wie die Beobachtung des Steigens und Fallens dieser Grenzfläche mit Aenderung der Durchfeuchtung, der Temperatur und des Zuströmens fäulnissfähiger Substanzen für die Kenntniss der hygienischen Verhältnisse sehr förderlich sich erweisen wird.“

Man hat in früheren Zeiten den aus dem Boden entströmenden Gasen, den Bodenausdünstungen, eine grosse Rolle für die Erregung von Krankheiten zugeschrieben; die Gasausdünstungen, die sich aus sich zersetzenden animalischen und vegetabilischen Stoffen entwickeln, sind als die Hauptquellen für die Infectionskrankheiten und im Allgemeinen für die „Fieber“ der Alten angesehen worden, und der Begriff des Miasmas deckt sich zum guten Theil mit diesem Vorgange. Wir verweisen mit Rücksicht auf die Erörterung dieser Frage auf die Aetiologie der Infectionskrankheiten. Seitdem die Annahme von der organisirten Natur der Infectionserreger eine immer befestigtere wird, haben die gasförmigen Bodenbestandtheile, ihre Emanationen, wesentlich symptomatische Bedeutung. Sie deuten auf Zersetzungsvorgänge im Boden hin, die zumeist an die Lebensthätigkeit niederer Organismen geknüpft sind, und ihre Beimischung zur Luft lässt es als möglich erscheinen, dass mit diesen Luftbewegungen — vorausgesetzt, dass es nicht bloß Diffusionserscheinungen sind — Pilze in die Luft gelangen (vgl. Cap. VI). Insofern läge bereits eine Möglichkeit vor, dass die Bodenluft in ihren Beimengungen einen Einfluss auf die Gesundheit des Menschen ausüben könnte. Eine zweite bestünde sodann darin, dass die Grundluft, die Luft aus dem Boden, sich der Athemluft beimischt, und bei gewissen Mischungsverhältnissen als Gift wirkt. In Brunnenschachten und Bergwerken, besonders wenn sie längere Zeit nicht in Betrieb gewesen sind, kommt es manchmal zu Ansammlungen irrespirabler, selbst giftiger Gase, sodass bei unvorsichtigem Einsteigen wiederholt Menschenleben gefährdet werden. Es sind besonders Kohlensäureansammlungen, die hier die Giftigkeit der Luft veranlassen, seltener Anhäufungen von Schwefelwasserstoff und Kohlenwasserstoffen.

Es ist sodann noch ein dritter, freilich indirecter Einfluss, den die Grundluft auf die menschliche Gesundheit nehmen kann, der aber in der Geschichte der Endemien und Epidemien vielleicht eine wesentliche Rolle spielt, und der sich darauf stützt, dass die Pilze in ihrer Lebensthätigkeit, in ihrem Wachsthum und in ihrer Infectiosität von der Beschaffenheit der Luft, die Zutritt zu denselben hat, ganz



wesentlich beeinflusst werden. — Im Allgemeinen werden die Pilze bei Abschluss der Luft viel empfindlicher.

Von Schimmelpilzen wissen wir, dass sie im Allgemeinen ein grösseres Sauerstoffbedürfniss besitzen.

Luftzutritt im Vereine mit mässiger Erwärmung begünstigen das Wachsthum der Sprosshefe. Traubenmost kann bekanntlich ohne Luftzutritt vergähren, die Gährung tritt aber in dem nämlichen Maasse um so rascher ein, je länger derselbe vor dem Abschluss die Einwirkung der Luft erfahren hat, der nämliche Traubenmost, der bei Zutritt von Luft in 20—30 Tagen vergährt, bedarf dazu unter Abschluss von Luft 4—7 Monate.

Harn ernährt bei Luftabschluss die Sprosspilze nicht; bei Luftzutritt vermag er ziemlich reichlich Sprosshefe zu bilden.

Wird der Zutritt der Luft verhindert, so vermögen Ammoniaksalze mit Zucker die Sprosspilze zwar noch durch viele Generationen zu ernähren, aber die Vermehrung ist jetzt eine viel geringere und hört in Folge von Erschöpfung nach viel weniger Generationen auf, als bei Zutritt von Sauerstoff.<sup>1)</sup>

Auch die Spaltpilze zeigen verschiedene Lebensäusserungen, je nachdem sie in einer sauerstoffhaltigen resp. sauerstoffreichen oder in einer sauerstoffarmen resp. sauerstofffreien Atmosphäre leben. Gewisse Gährungen, Harnsäure-Gährung, Gährung der Asparagins, die sogenannten Oxydationsgährungen, verlangen entschieden Luftzutritt. Enthält Harn 9% Zucker und 4,5% Alkohol, so bleibt bei Abschluss der Luft die Vermehrung der Spross- und Spaltpilze aus, während bei Luftzutritt zuerst die Spaltpilze sich vermehren.<sup>1)</sup>

HOPPE-SEYLER (l. c.) constatirte, dass durch Einwirkung von überschüssigem Sauerstoff auf Bacteriengährung (in Eiweisslösungen) eine reichliche Ausbildung von Bacterien und Micrococcen, und hierdurch eine Beschleunigung der Gährung und Umwandlung der durch die Gährung zerfallenden organischen Substanzen durch energische Oxydation zu Kohlensäure, Wasser und Ammoniak erfolgt.

Dann gibt es wieder Spaltpilze, bei denen der Zutritt von Sauerstoff die Gährung, also die Lebensthätigkeit oder wenigstens eine Form der Lebensthätigkeit verhindert, demnach die Leistung derselben aufhebt oder wenigstens modificirt (vgl. Fermente S. 180).

Nach BUCHNER<sup>2)</sup> werden Milzbrandpilze durch erhöhte Sauerstoffzufuhr in nichtinfectiöse Pilze umgewandelt, und in den Versuchen PASTEUR's<sup>3)</sup>, die die Abschwächung der organisirten Gifte, die „atténuation des virus“, sich zur Aufgabe machen, spielt — neben dem Temperatureinfluss — die Sauerstoffzufuhr eine gewisse Rolle. Endlich ist auch die Bedeutung des Luft- resp. Sauerstoffzutrittes auf die Bildung von Dauerformen, von Sporen zu berücksichtigen<sup>4)</sup>.

1) NÄGELI, Untersuchungen über niedere Pilze. 1882.

2) H. BUCHNER, Ueber die experimentelle Erzeugung des Milzbrandes aus dem Heupilze, in NÄGELI, Untersuchungen über niedere Pilze. 1882.

3) M. PASTEUR, De l'atténuation des virus. Quatrième Congrès international d'hygiène et de Démographie à Genève. 1882. 1. 127. 4) KOCH, Beiträge zur Biologie der Pflanzen. II. — SOYKA, Fortschritte der Medicin. IV.



Wie der Sauerstoff gewisse Lebensthätigkeiten der Pilze zu beeinflussen vermag, geht aus den Untersuchungen ENGELMANN's<sup>1)</sup> hervor. Die Fäulnisbakterien, besonders gewisse Schraubenformen, zeigen in ihrem Schwärmzustande ein Verhalten, welches auf ein grosses Sauerstoffbedürfniss schliessen lässt; sie sammeln sich überall dort an, drängen sich zu, wo sich freier Sauerstoff vorfindet oder entwickelt wird, also in eingeschlossenen Luftblasen, in Sauerstoff abscheidenden Algen. Bei Abschluss von Sauerstoff geben sie ihre Bewegung auf. Diese Einwirkung des Sauerstoffs ist aber auch noch graduell verschieden. Von manchen Spaltpilzformen, Spirillen, wird nur eine beschränkte Sauerstoffspannung ertragen, die geringer ist als die der atmosphärischen Luft. Im Allgemeinen wirkt Sauerstoff bewegungsbeschleunigend, Kohlensäure in geringer Beimengung auf frische Bakterien excitirend, in grösserer Menge dagegen lähmend.<sup>2)</sup> Ozon dürfte im Boden kaum in Betracht kommen, auch dieses wirkt paralysirend.

Aus alledem geht hervor, wie wichtig diese Verhältnisse werden können, wenn deren Studium auch bisher gerade mit Rücksicht auf den Boden noch kaum in Angriff genommen ist. Jedenfalls werden sich bei der verschiedenartigen Zusammensetzung der Luft in verschiedenen Bodenschichten etwas complicirte Verhältnisse ergeben.

Hieran ist noch ein eigenthümliches Verhalten des Bodens gegenüber Gasen anzuschliessen, das in der Absorption derselben durch den Boden besteht. Der Boden ist im Stande, Wasserdampf aus der Luft zu absorbiren. Nach BABO verhält sich der bei 35—40° ausgetrocknete Boden mit Rücksicht auf seine wasseranziehende Kraft wie concentrirte Schwefelsäure, Chlorcalcium u. s. w. Ausserdem ist das Absorptions- resp. Condensationsvermögen<sup>3)</sup> verschiedener Bodenarten für Stickstoff, Sauerstoff, Kohlensäure, Kohlenoxyd, Ammoniak, Sumpfgas, Schwefelwasserstoffgas nachgewiesen (DE SAUSSURE, REICHARDT und BLUMTRITT, DÖBRICH, SCHEERMESSE, DÉHÉRAIN, SIMON, BRUSTLEIN, EICHORN, BRETSCHNEIDER u. A.). Dasselbe wächst mit der Feinheit der Bodenpartikel und mit abnehmender Temperatur (bis zu 0—10°), bei welcher Temperatur das Absorptionsvermögen am grössten ist. Mit Rücksicht auf die Natur der Gase ist die Absorption bei jenen, welche sich leicht in den flüssigen Zustand überführen lassen, und welche leicht Veränderungen erfahren

1) ENGELMANN, Pflüger's Archiv. XXV. 2) GROSSMANN u. MAYERSHAUSEN, Ueber das Leben der Bakterien in Gasen. Pflüger's Archiv. XV.

3) G. AMMON, Untersuchungen über das Condensationsvermögen der Bodenconstituenten für Gase. Forschungen auf dem Gebiete für Agriculturphysik. II.

grösser als bei den anderen. Dabei sind besonders das Eisenoxyd und die Humussubstanzen von grossem Einfluss.

Einzelne der absorbirten Gase erleiden auch noch chemische Veränderungen wie z. B. das Ammoniak, aus dem sich Salpetersäure, der Schwefelwasserstoff, aus dem sich Schwefel abscheidet, auch Schwefeleisen bildet, das Sumpfgas, aus dem sich empyreumatische Substanzen bilden.

Ein interessantes und bedeutsames Factum haben BIEFEL und POLECK<sup>1)</sup> bezüglich des Leuchtgases constatirt. Werden nämlich längere Erdschichten von Leuchtgas durchströmt, so gibt dieses einen Theil seiner Bestandtheile an den Boden ab und zwar sind es vorzüglich die riechenden Bestandtheile. BIEFEL und POLECK leiteten Leuchtgas im langsamen Strome durch ein 2,35 Met. langes und 5 Cm. weites eisernes Rohr, das mit Erde von sandig-humöser Beschaffenheit gefüllt war. Beim Austritt aus der Röhre hatte das Gas seinen unangenehmen charakteristischen Geruch fast ganz verloren, und die Analyse ergab folgende Differenzen von dem ursprünglichen Gase.

In 100 Theilen waren enthalten:

	a) Leuchtgas	b) durch die Erdschicht geströmtes Gas
Kohlensäure . . . . .	3,06	2,23
Schwere Kohlenwasserstoffe .	4,66	0,69
Sumpfgas . . . . .	31,24	17,76
Wasserstoff . . . . .	49,44	47,13
Kohlenoxyd . . . . .	10,52	13,93
Sauerstoff . . . . .	0,00	6,55
Stickstoff . . . . .	1,08	11,71.

Nach dieser Tabelle sind circa 75% der schweren Kohlenwasserstoffe und mit ihnen die im Gase befindlichen Dämpfe der riechenden Theerbestandtheile sowie 50% vom Sumpfgas im Boden zurückgehalten worden. Es kann in diesem Umstande insofern eine Gefahr für die Gesundheit liegen, als bei Gasausströmungen, die unterirdisch durch eine längere Erdschicht erfolgen, nicht sofort der charakteristische Geruch wahrgenommen wird. Es sättigen sich diese Bodenschichten jedoch in kurzer Zeit, so dass bei längerem Durchströmen, wenn ungefähr das 5—6fache des Porenvolumens des Erdbodens durchgegangen war<sup>2)</sup>, der Geruch bald wieder erscheint.

Es soll hier noch aufmerksam gemacht werden auf die Rolle, die der Boden bei diesen Vorgängen nach seiner mechanischen Zusammensetzung zu spielen vermag.

1) BIEFEL u. POLECK, Ueber Kohlendunst- und Leuchtgasvergiftung. Zeitschrift für Biologie. XVI. S. 304. 2) H. BUNTE, Schillings Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung. 1885.

Die Absorption von Gasen im Boden beruht jedenfalls zum grossen Theil auf jenen Adhäsionserscheinungen der Gase, die eine oberflächliche Verdichtung derselben an den festen Körpern zur Folge haben. Jeder feste Körper überzieht sich so mit einer dünnen Haut von aussen an Dichte zunehmenden Gases, die bei starker Anziehung oft mit Hartnäckigkeit an ihm haftet, und die auch bei Benetzung der Oberfläche, bei völligem Eintauchen in Flüssigkeiten haften bleibt und nur bei höheren Temperaturen zum Verschwinden gebracht werden kann. Die Quantität des so condensirten Gases ist von der Grösse der Oberfläche der festen Körper abhängig. Je feinere Partikel ein Boden enthält, je feiner sein Korn ist, desto grösser muss die Gesamtoberfläche dieser einzelnen Körner ausfallen, und desto mehr Gas kann condensirt werden.

Um ein anschauliches Bild darüber zu geben, wie grosse Differenzen durch die Grösse des Kornes eintreten können, wollen wir wieder, wie bei der Betrachtung der Permeabilität des Bodens (S. 39) von der Voraussetzung ausgehen, dass der Boden aus vollkommen gleichartigen und regelmässigen, kugelligen Elementen besteht, und diese in ihren Dimensionen von 0,05—10 Mm. variiren lassen.

Wir erhalten dann für die Oberfläche des einzelnen Kornes den Werth  $4\pi r^2$ . Die Summe ( $U$ ) der Oberflächen sämmtlicher Kugeln entspricht der Zahl aller Kugeln, die sich in einem bestimmten Volumen befinden (wir gehen von dem Volumen eines Liters aus), multiplicirt mit der Oberfläche dieser Kugeln ( $4\pi r^2$ ).

$$U = N \cdot 4 \pi r^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1.$$

Die Zahl  $N$  der Summe sämtlicher Kugeln entspricht dem (wahren) Volumen ( $V$ ) sämtlicher Kugeln, geteilt durch das Volumen der einzelnen Kugel  $\frac{4}{3} \pi r^3$ .

$$N = \frac{V}{\frac{4}{3} \pi r^3} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad 2.$$

Daraus erhalten wir  $U = \frac{3}{x} V \dots \dots \dots 3.$

Wir werden natürlich für  $V$  zwei Werthe einzusetzen haben, je nach der Lagerung; bei dichter Lagerung ist  $V = 740$  Ccm., bei lockerer Lagerung  $= 524$  Ccm. Es sind bisher für wenig Gase Berechnungen angestellt über die Mengen, die von einer bestimmten Fläche condensirt werden können.

MAGNUS fand, dass 1 □ Mm. Glasfläche bei 0° und 1 Atm. Druck gegen 0,0008 Cbmm. schweflige Säure mehr festhält als bei 100°. Nach CHIOZZA condensirt dieselbe Fläche 0,0157 Cbmm. Kohlensäure <sup>1)</sup>, nach BUNSEN <sup>2)</sup> sogar bis zu 0,0507 Cbmm. Freilich wird bezüglich dieser Zahlen BUNSEN's der Einwand erhoben, ob es sich hierbei nicht um eine chemische Bindung durch die meist alkalisch reagierende Glaswolle gehandelt habe. Nach CHAPPUIS <sup>3)</sup> lösen sich von der Oberfläche eines Quadratmillimeter-Glases durch Erwärmen von 0,180°: 0,00027 Cbmm. Wasserstoff, 0,00035

1) MOUSSON, Die Physik auf Grundlage der Erfahrung.

2) R. BUNSEN, Ueber capillare Gasabsorption. Annalen d. Physik u. Chemie. XX u. XXIII. 3) Annalen der Physik und Chemie. VIII. 1879.

Cbmm. Luft, 0,00059 Cbmm. Kohlensäure, 0,00083 Cbmm. schweflige Säure, 0,00083 Cbmm. Ammoniak.

Wir wollen auf Grund dieser Zahlen, und zwar der von CHAPPUIS für Luft gefundenen Werthe, eine vergleichende Zusammenstellung der Befunde bei wechselndem Korn geben <sup>1)</sup>.

Halbmesser des Korns	Oberfläche eines Korns $4\pi r^2$	Gesamtoberfläche $\left(\frac{3V}{r}\right)$		Diese Gesamtoberfläche entspricht einem Quadrat, dessen eine Seite beträgt in Metern:		Condensirtes Gas in Cbcm.	
		bei dichter Lagerung	bei lockerer Lagerung				
		$\frac{3 \times 740}{r}$	$\frac{3 \times 524}{r}$	bei dichter Lagerung	bei lockerer Lagerung	bei dichter Lagerung	bei lockerer Lagerung
Mm.	Mm.	□ Mm.	□ Mm.				
0,005	0,000314	444,000000	314,400000	21,071	17,732	155	110
0,010	0,001257	222,000000	157,200000	14,899	12,537	77,7	55
0,050	0,031416	44,400000	31,440000	6,663	5,607	15,5	11
0,100	0,125664	22,200000	15,720000	4,711	3,965	7,8	5,5
0,500	3,141592	4,440000	3,144000	2,107	1,773	1,55	1,1
1,000	12,566370	2,220000	1,572000	1,490	1,254	0,78	0,55
5,000	314,159200	444000	314400	0,666	0,561	0,15	0,11
10,000	1256,637000	222000	157200	0,471	0,396	0,08	0,05

Hieraus können wir ersehen, dass es zu nicht unbedeutenden Gasvorräthen im Boden kommen kann, und dass dieselben je nach dem Gefüge des letzteren Schwankungen unterworfen sind. Mit Rücksicht auf die in diesem Abschnitte angeführten Thatsachen über den Einfluss von Gasen auf die Lebensthätigkeit niederer Organismen sind diese Verhältnisse von grosser Bedeutung (vgl. auch Cap. VI). Wir werden auch sehen, dass der Ablauf gewisser Zersetzungs Vorgänge im Boden (Cap. V) von dem mechanischen Gefüge des Bodens wesentlich beeinflusst wird.

## V. Wassergehalt des Bodens.

Nur in seltenen Fällen trifft es zu, dass ein in unserem Sinne poröser Boden in seinen Hohlräumen nur gasförmigen Inhalt besitzt; in den meisten Fällen ist neben dem gasförmigen Inhalt oder anstatt seiner ein tropfbar flüssiger vorhanden.

Bei der Würdigung dieses Umstandes werden wir aber wieder eine Einschränkung zu machen haben, zu der wir bereits bei der Definition der Porosität gelangten. So wie, vom allgemein physikalischen Standpunkte aufgefasst, selbst die scheinbar compactesten Gesteine ihre Poren besitzen, so wird auch keines derselben für Wasser absolut undurchdringbar erscheinen, und es findet auch in der That eine Durchfeuchtung desselben bis tief in die Gebirgsmassen hinein statt, so dass jedes frisch gebrochene Gestein mehr oder weniger

1) SOYKA, Beobachtungen über die Porositätsverhältnisse des Bodens. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. VIII.



gebirgsfeucht ist. Allein schon aus den Versuchen von DELESSE (S. 26) geht hervor, wie geringfügig die in solchen Fällen mögliche Wasseraufnahme ist, besonders wenn wir sie in Vergleich setzen mit den gleich zu erwähnenden Wassermengen, die im „porösen“ Boden vorkommen; ausserdem sind die in solchen Gesteinen vorhandenen Wassermengen so sehr einer jeden, etwas unmittelbareren Einwirkung auf ihre Umgebung entzogen, so schwer in Wechselbeziehung zu bringen mit dieser Umgebung, dass wir vom Standpunkt der Geophysik und Geologie die Berechtigung haben, solche in unserem Sinne aporöse Gesteine auch als nicht aufnahmefähig für Wasser anzusehen.

Wir werden also in Analogie zu den porösen und aporösen Bodenarten solche mit einem Wasserfassungsvermögen und solche ohne dasselbe zu unterscheiden haben. (Von jenen Vorgängen, durch welche das Wasser vom Boden infolge einer chemischen Action aufgenommen wird, beim Anhydrit z. B., können wir hier, wo es sich um das Vorkommen von tropfbar flüssigem Wasser handelt, natürlicher Weise absehen.)

Nur auf eine weitere Analogie mit der Porosität sei hingewiesen. So wie bei dieser (S. 24) betont wurde, dass wir zu unterscheiden haben zwischen der Porosität des Bodens als Ganzen und der seiner einzelnen Fragmente, so wird auch der Boden mit Rücksicht auf seine Fähigkeit, Wasser in sich aufzunehmen, nach dieser Auffassung verschieden charakterisirt werden. Schon die citirten Untersuchungen von DELESSE bieten uns auch den Beweis, dass Gesteine, Bodenarten, die an und für sich aporös sind, also auch für Wasser keine Aufnahmefähigkeit und Durchgängigkeit besitzen, diese Eigenschaft durch Zerkleinerung in hohem Maasse gewinnen, dass die Imbibitionsfähigkeit verschiedener Gesteine ausserordentlich wechselt, je nachdem sie in Form von compacten Fragmenten oder von Pulver untersucht wurden, vorausgesetzt, dass wir ein solches Pulver als Ganzes und nicht in seinen einzelnen Partikeln betrachten.

100 Gewichtstheile der Substanz nahmen Wasser auf:

	a) als compacte Fragmente	b) als Pulver
Granit . . . . .	0,06	27
Marmor (sehr compact) . . . . .	0,08	17
Thonschiefer (grauschwärzlich mit Trilobiten von Anger) . . . . .	0,19	31
Schwarzer Schiefer mit vegetabilischer Einlagerung (Terrain huillier) . . . . .	2,85	36
Meerschäum . . . . .	91,15	201.

Fassen wir dementsprechend die Verhältnisse ins Auge, wie sie sich in der Natur darbieten. Wir werden hierbei zwei Zustände aus-

einander zu halten haben bezüglich des Wassergehaltes im Boden. Das Wasser ist in dem einen Fall in solcher Menge vorhanden, dass es alle Poren ausfüllt, wie dies in den hier angeführten Versuchen von DELESSE der Fall ist, es hat alle Luft aus den Poren verdrängt (abgesehen von jenen Lufthüllen, die in Folge der Adhäsion resp. Condensation an den festen Körpern haften und erst bei hoher Temperatur sich entfernen lassen, S. 75). Bei diesem Vorgange, der sich in allen jenen Bodenschichten repräsentirt, die Grundwasser führen (Theil II, Cap. II), liegt das Maass für den Wassergehalt in der Porosität, dem Porenvolumen des Bodens, und dient ja auch diese Methode der Anfüllung sämtlicher Hohlräume mit Wasser zur Bestimmung des Porenvolumens.

Im anderen Falle dagegen sind nicht sämtliche Poren, oder wenigstens nicht der ganze Rauminhalt jeder einzelnen Pore mit Wasser gefüllt; es findet sich neben dem Wasser auch noch Luft im Boden, und je nach dem wechselseitigen Mengenverhältniss, in dem diese beiden Stoffe zueinander stehen, wird der Ablauf äusserst wichtiger Vorgänge im Boden wesentlich modificirt.

FLECK<sup>1)</sup> fand bei Bestimmungen des Wassergehaltes, die er in Dresden anstellte, folgende Schwankungen (die Grundwasser führende Schichte war in einer Tiefe von 9,4 Metern anzutreffen).

In 1000 Litern = 1 Cubikmeter waren enthalten Kilo Wasser:

Bodentiefe in Metern	schwarze Gartenerde	Bauschutt	schwach- lehmiger Sand	Kies, sehr lehmreich	Kies	sehr feiner Sand
0,1	—	—	—	—	—	31,7
0,12	73,8	—	—	—	—	—
0,60	—	66,6	—	—	—	—
0,80	—	25,3	—	—	—	—
1,00	—	—	—	—	—	33,9
1,20	—	33,0	—	—	—	—
2,00	—	30,1	—	—	—	43,1
2,10	—	—	125,6	—	—	—
2,64	—	—	131,7	—	—	—
3,0	—	—	—	—	—	71,1
3,10	—	—	137,4	—	—	—
3,37	—	—	—	117,0	—	—
3,60	—	—	—	103,2	—	—
4,0	—	—	—	—	—	36,9
4,10	—	—	—	—	54,2	—
4,60	—	—	—	—	44,8	—
5,0	—	—	—	—	—	29,6
5,10	—	—	—	—	53,0	—
5,60	—	—	—	—	57,2	—
6,0	—	—	—	—	—	28,9
6,10	—	—	—	—	54,7	—

1) FLECK, Ueber die Beziehungen der Bodenarten und Bodengase zu den Grundwasserverhältnissen. II. Jahresbericht der chem. Centralstelle für öffentl. Gesundheitspflege in Dresden. 1873.

FODOR<sup>1)</sup> fand Differenzen im Wassergehalte je nach Bodenart, Jahreszeit und Tiefe von 3,2 Grm. Wasser in 100 Grm. Boden bis zu 16,8 Grm.

Ausführliche Bestimmungen liegen sodann von HOFMANN<sup>2)</sup> vor bezüglich des Leipziger Bodens, die sowohl mit Rücksicht auf die mineralogische Natur der untersuchten Bodenarten, als auch auf die Tiefe der Schicht werthvolle Aufschlüsse geben.

Es folgen zunächst die Wasserbestimmungen in einem hochgradig verunreinigten Boden von je einer Stelle, die zur Ablagerung von Strassenschlamm, Schutt u. dgl. gedient hatten.

Bodenart	Tiefe der Erdschicht	Auffüllmaterial			
		Frankfurter Strasse		Schleussiger Weg	
		100 Grm. Boden enthalten Wasser in Grammen	1 Liter Boden enthalten Wasser in Grammen	100 Grm. Boden enthalten Wasser in Grammen	1 Liter Boden enthalten Wasser in Grammen
Auffüllung	0,00—0,25	18,4	348	29,8	486
	—0,75	30,1	385	12,5	255
	—1,25	17,0	321	16,1	282
	—1,75	15,9	312	15,8	276
	—2,25	32,2	534	19,8	347
	—2,90	18,6	345	—	—
	—3,00	18,5	370	20,2 <sup>3)</sup>	381
Wiesenlehm	Mittel	21,5	388	19	338

Diesen Befunden stehen die aus ganz reinem Boden gewonnenen gegenüber.

Wassergehalt eines reinen Diluviallehm- und Sandbodens bei Grabung eines Brunnens (Mai 1882).

Tiefe der Erdschicht in Metern	Sandiger Geschiebelehm		Reiner Sand		Kies		Thoniger Geschiebelehm	
	100 Grm. Boden enthalten Gramm Wasser	1 Liter Boden enthält Gramm Wasser	100 Grm. Boden enthalten Gramm Wasser	1 Liter Boden enthält Gramm Wasser	100 Grm. Boden enthalten Gramm Wasser	1 Liter Boden enthält Gramm Wasser	100 Grm. Boden enthalten Gramm Wasser	1 Liter Boden enthält Gramm Wasser
	100 Grm. Boden enthalten Gramm Wasser	1 Liter Boden enthält Gramm Wasser	100 Grm. Boden enthalten Gramm Wasser	1 Liter Boden enthält Gramm Wasser	100 Grm. Boden enthalten Gramm Wasser	1 Liter Boden enthält Gramm Wasser	100 Grm. Boden enthalten Gramm Wasser	1 Liter Boden enthält Gramm Wasser
0,90—2,30	6,17	136	—	—	—	—	—	—
3,10	—	—	4,00	91	—	—	—	—
3,85	—	—	—	—	1,80	32	—	—
6,05	—	—	—	—	3,24	66	—	—
6,55	12,40	261	—	—	—	—	—	—
7,25	—	—	—	—	—	—	10,04	218
8,25	8,24	175	—	—	—	—	—	—
8,75	—	—	3,34	64	—	—	—	—
9,05	9,40	203	—	—	—	—	—	—
9,45 <sup>4)</sup>	—	—	—	—	37,77	687	—	—

1) FODOR, Hygienische Untersuchungen u. s. w.

2) HOFMANN, Grundwasser und Bodenfeuchtigkeit. Archiv für Hygiene. I.

3) Der Wiesenlehm trat hier in einer Tiefe von 2,50 Metern zu Tage.

4) Unmittelbar über dem Grundwasser, das bei 9,5 Metern anstund.

Wassergehalt aus einem reinen, möglichst gleichartigen Boden zur Zeit der grössten Durchfeuchtung (December 1879 bis April 1880). Leipziger Friedhofsboden — 100 Grm. Erde enthalten Gramm Wasser:

Tiefe der Erdschicht in Metern	Diluviallehm	Diluvialsand	Bänderthon
0,00—0,5	10,1—16,0	—	—
0,5 —1,0	10,0—14,1	9,5	—
1,0 —1,5	11,0—14,2	6,5	—
1,5 —2,0	11,1—13,7	8,3	—
2,0 —2,5	9,5—12,0	3,6	—
2,5 —3,0	9,3—11,5	5,2—8,1	21,5
3,0 —3,25	—	—	16,0—23,1
3,25—3,50 <sup>1)</sup>	6,5	3,8—9,1	—

Diese Befunde, wie sie in den natürlichen Bodenarten constatirt wurden, zeigen, dass der Wassergehalt des Bodens grossen Schwankungen unterworfen ist, und wir können auch annähernd erkennen, wodurch diese Schwankungen bedingt sind.

Sie hängen in erster Linie mit örtlichen und zeitlichen Verhältnissen zusammen. Dieselbe Bodenart, z. B. Kies, die in einer Tiefe von 3,85 Metern 32 Grm. Wasser im Liter enthält, führt 9,45 Meter tief und nur 5 Cm. über dem Grundwasser 687 Grm. im Liter, also mehr als 20 mal so viel. Ein reiner Sand, dessen Wassergehalt am 2. December in der Tiefe von 3,25—3,5 Metern 3,8 Gewichtsprocent erreicht, besitzt in Perioden höchster Durchfeuchtung (19. December) 9,1 Gewichtsprocent Wasser.

Die Differenzen scheinen ferner im mineralogischen resp. chemischen Charakter des Materials zu liegen; unter denselben Verhältnissen, d. h. am selben Orte und zu nicht wesentlich verschiedener Zeit, zeigt z. B. Bänderthon einen Wassergehalt von 21,5 Gewichtsprocent, Diluvialsand dagegen nur einen solchen von 11,5. Ein an organischen Substanzen sehr reicher, sehr verunreinigter Boden, der Auffüllboden, zeigt in analogen Tiefen durchweg einen bedeutend höheren Wassergehalt (15,8—32,2 Gewichtsprocent) als ein reiner Boden (mit 1,8—12,4 Gewichtsprocent Wassergehalt).

Auch die Structur, der physikalische Charakter scheint von Einfluss zu sein (Bänderthon), wenn auch die hier angeführten Versuche diese Seite weniger hervortreten lassen.

Es ist nun unsere Aufgabe, die Bedingungen für diesen wechselnden Wassergehalt des Bodens, der epidemiologisch eine grosse Rolle spielt, aufzuklären.

1) Das Grundwasser trat bei einer Tiefe von 12,5 Metern zu Tage.



Die hierfür maassgebenden Factoren sind: die Wassercapacität des Bodens, die capillare Leitung des Wassers im Boden und die Permeabilität des Bodens für Wasser, endlich auch die Verdunstung aus dem Boden.

## VI. Wassercapacität des Bodens.

Für das äusserste Maass der Fähigkeit eines Bodens, Wasser in sich aufzusammeln, haben wir in der Porosität desselben, der für das Porenvolumen festgestellten Grösse, den entsprechenden Ausdrück gefunden (S. 27); es wird damit diejenige Menge Wassers gekennzeichnet, die nöthig ist, um die Poren eines Bodens so vollständig mit Wasser zu erfüllen, dass alle Luft, alle Gase aus demselben verdrängt sind, also einen Boden mit Wasser vollkommen zu sättigen, ein Zustand, wie er ungefähr bei den Grundwasser führenden porösen Bodenschichten hergestellt ist (Theil II). Dieser Zustand kann jedoch in den meisten Fällen nur dann eintreten, wenn der Abfluss des Wassers nach unten zu gehemmt ist. Ist dies jedoch nicht der Fall, so wird nach den hydrostatischen Gesetzen das Wasser abzufließen suchen und zwar wird je nach der Höhe der Wassersäule, der Natur des Bodens und Beschaffenheit der Poren (die die Grösse und Form der Ausflussöffnung repräsentiren) das Wasser in wechselnder Menge und mit wechselnder Geschwindigkeit abfließen. Ein vollständiger Abfluss tritt jedoch nicht ein. Der Boden hält wechselnde Mengen Wassers in sich zurück und wir bezeichnen diese Fähigkeit des Bodens, von dem ihm zur Verfügung stehenden Wasser, trotz freien Abfließens des letzteren, eine gewisse Menge zurückzuhalten, im Allgemeinen mit dem Ausdrucke „Wassercapacität“ oder „specifischer Wassergehalt“, früher auch „wasserfassende Kraft“. Der Grund für diese Erscheinung liegt in den zwischen festen und flüssigen Körpern herrschenden Adhäsionserscheinungen, die sich in zweifacher Weise hier kundgeben, in der Benetzung und in der capillaren Hebung des Wassers. Die Adhäsion, die zwischen den Bodenpartikeln und dem Wasser besteht, ist im Stande, sowohl die Cohäsion des Wassers, als auch die Schwerkraft desselben bis zu einem gewissen Grade zu überwinden, so dass bestimmte, von der jeweiligen Grösse der Adhäsion abhängige Wassermengen im Boden zurückbleiben. Hiermit combinirt sich die Capillarwirkung, durch welche in den zwischen den Bodenelementen befindlichen capillaren Hohlräumen ebenfalls Flüssigkeit entgegen der Schwerkraft zurück-

gehalten wird. Die Grenzen, die der Wirkung beider dieser Kräfte durch das Entgegenwirken der Schwerkraft gezogen sind, lassen die Wassercapacität in zwei graduell verschiedenen Modificationen sich präsentiren, nämlich als eine grösste oder volle Wassercapacität, bei welcher sämmtliche Capillaren mit Wasser gefüllt sind, und eine absolute oder kleinste Wassercapacität, welche das Minimum von Wasser repräsentirt, welches trotz freien Abflusses vom Boden unter allen Umständen festgehalten wird, wenn demselben ein Wasserüberschuss zur Verfügung stand.<sup>1)</sup> Die Capillaritätswirkung — die Benetzbarkeit der Substanz, d. h. die Adhäsion des Wassers an derselben vorausgesetzt — kann sich stets doch nur bis zu einer gewissen Höhe erstrecken (die dem Durchmesser des Capillarraumes umgekehrt proportional ist); bei ungehindertem Wasserabfluss können also nur diejenigen Capillarräume vollständig gefüllt bleiben, deren Höhe in einem bestimmten Verhältniss zu ihrer Weite ist. In den höheren, mit freiem Abfluss gegen die Tiefe, gegen das Grundwasser versehenen, von dieser Schicht aber etwas entfernten Bodenschichten wird also auch bei der stärksten Befeuchtung bald der Zustand der absoluten oder kleinsten Wassercapacität sich einstellen; dagegen wird sich die volle oder grösste Wassercapacität in gewissen, unmittelbar am Wasser (Grundwasser) befindlichen Bodenschichten etabliren, in einer Bodensäule von so geringer Höhe, dass eben die Schwerkraft von der Capillaritätswirkung übertroffen wird.

Die Wassercapacität des Bodens ist nun von verschiedenen in den Bodenelementen selbst gelegenen Factoren abhängig.

In erster Linie können wir hierfür den mineralogischen resp. chemischen Charakter der Bodenelemente verantwortlich machen. Allerdings muss bei derartigen Untersuchungen, wo die Bedeutung eines einzelnen Factors in die Erscheinung treten soll, dieser einzelne Factor auch vollständig isolirt hervortreten; dieser Bedingung suchte A. MAYER<sup>1)</sup> gerecht zu werden, indem er die mechanischen resp. physikalischen Differenzen, die, wie wir sehen werden, ebenfalls eine grosse Rolle spielen, möglichst eliminirte.

Bei seinen Bestimmungen der vollen Wassercapacität durch Einfüllen des Materials in Würfel aus Messingdraht von 5 Cm. Länge und Aufgiessen von Wasser bis zur völligen Sättigung fand er folgende Differenzen:

---

1) ADOLF MAYER, Ueber das Verhalten erdartiger Gemische gegen das Wasser. Landwirthschaftliche Jahrbücher. III. 1874.

## Volle Wassercapacität in Volumprocent des Bodens.

Korngrösse Durchmesser	Quarz	Kalkspath	Gyps	Thonstein
2,7—4,2 Mm.	19,1 (100)	20,5 (107)	22,3 (116)	26,1 (136)
0,9—2,7 "	38,4 (100)	34,9 (90)	39,24 (102)	43,0 (112)
0,3—0,9 "	48,97 (100)	39,3 (80)	49,3 (100)	46,75 (95)
staubfein bis 0,3 "	49,95 (100)	39,3 (78)	42,4 (85)	43,45 (87)

Die Zahlen in Klammern geben die relativen Werthe an.

Die Unterschiede, die sich durch die chemische oder petrographische Natur der Bodenbestandtheile ergeben, erscheinen auf den ersten Blick nicht bedeutend, wir können, späterem vorgreifend, erwähnen, dass sie von den durch die physikalische Structur bedingten weit übertroffen werden; trotzdem spielt der petrographische Charakter im concreten Falle eine grosse Rolle, insofern als er die Veranlassung ist, dass dem Boden eine bestimmte physikalische Structur zu Theil wird. Die Versuche MEISTER's, die mit natürlichen Bodenarten, ohne Berücksichtigung der Differenzen der Structur, angestellt wurden, gaben für die volle Wassercapacität folgende Werthe (in Volumprocent):

Sandboden (82 % Sand)	. . . 45,4
" (64 " " )	. . . 65,7
Quarzsandboden	. . . 46,4
Kreideboden	. . . 49,5
Thonboden	. . . 50,0
Gypsboden	. . . 52,4
Kalkboden	. . . 54,9
Lehmboden	. . . 60,1
Torfboden	. . . 63,7
Gartenerde	. . . 69,0
Humusboden	. . . 70,3

Es lässt sich aus diesen Zahlen wenigstens auf den erhöhenden Einfluss schliessen, den der Lehm- und Humusgehalt, sowie der Gehalt an organischen Stoffen auf die Wassercapacität besitzt.

Vom reinen Torf wissen wir, dass er das 3—10 fache seines Trockengewichts Wasser aufnehmen kann, für andere vegetabilische Stoffe fand KRUTSCH eine Wassercapacität von 226—281 Gewichtsprocent für verschiedene Stroharten, von 221 für Kiefernadeln, von 308 für Fichtennadeln, von 441 für Buchenlaub. REINL<sup>1)</sup> bestimmte die Wassercapacität (die volle) der einzelnen Moorarten mit 195—1013 % ihres Trockengewichtes.

Freilich handelt es sich hierbei nicht mehr um die Wirkung der Adhäsion und Capillarität allein, hier treten schon Imbibitionserscheinungen auf. Jedenfalls ist aber der Gehalt an organischen

1) C. REINL, Vergleichende Untersuch. üb. d. therapeut. Werth d. bekanntesten Moorbäder Oesterreichs und Deutschlands. Prager med. Wochenschr. 1886. S. 120.

Stoffen (den Elementen der Bodenverunreinigung) ein Factor, der den Boden zu einem für Wasser sehr aufnahmefähigen und deshalb Schwankungen im Wassergehalt sehr zugänglichen Materiale macht und in der oben S. 80 angeführten Untersuchung HOFMANN's spricht sich dieser Umstand ziffermässig aus; der an organischen Substanzen so reiche Auffüllboden enthielt durchschnittlich doppelt so viel Wasser als ein reiner Boden. Auch FODOR<sup>1)</sup> machte in Budapest die Erfahrung, dass sich der dortige Untergrund in dem Maasse feuchter oder trockener erwies, als er mit organischen Stoffen mehr oder weniger verunreinigt war, und so sieht auch HOFMANN in der Reinhaltung des Bodens ein Mittel, seine Trockenheit zu fördern.

Die Ursache für die in der chemischen Beschaffenheit des Bodens liegenden Differenzen in der Wassercapacität liegt zuvörderst in der verschiedenen Adhäsionsfähigkeit des Wassers an den Bodenelementen. Nach allgemein physikalischen Gesetzen ist das Gewicht der an der Längeneinheit gehobenen Flüssigkeit abhängig von dem Randwinkel, den die Flüssigkeit mit der Röhrenwand macht und der die Grösse der Adhäsion zwischen Wasser und Boden ausdrückt. Die Differenzen, die sich in diesen Werthen ergeben, sind aber keineswegs so gross, dass sie nicht durch andere Momente compensirt werden könnten. Hierzu tritt dann der Umstand, dass es nicht möglich ist, die Materialien derart zu zerkleinern, dass die Körner verschiedener Bodenconstituenten die gleiche physikalische resp. geometrische Beschaffenheit haben. Es hängt dies mit der verschiedenen Spaltbarkeit der Mineralien zusammen; dadurch wird aber in die Experimente ein Factor eingeführt, der, wie gleich gezeigt werden wird, von mächtigerem Einfluss ist, als der zu bestimmende; in Folge dessen fehlt denn für die genaue Beurtheilung des Einflusses, den die chemische Beschaffenheit des Bodens allein auf die Wassercapacität auszuüben vermag, die Gleichartigkeit der anderen Bedingungen. Die durch die chemischen Bodendifferenzen beeinflusste Wassercapacität hängt aber auch noch mit den physikalischen Unterschieden der chemisch differenten Bodenconstituenten ab, wie der Porosität und Imbibitionsfähigkeit der einzelnen Bodenpartikel; sind z. B. einzelne Bodenmaterialien an und für sich porös, so summiren sich zu den durch die Anlagerung der Körner gebildeten Hohlräumen auch noch die Poren der einzelnen Körner (Gyps, Thonstein, Torf).

Die Beeinflussung der Wassercapacität durch die physikalischen resp. mechanischen Bodenverhältnisse tritt viel deutlicher in die Erscheinung und lässt sich viel zuverlässiger feststellen.

1) FODOR, Hygienische Untersuchungen u. s. w. Braunschweig 1881.



Wir wollen die oben S. 83 angeführten Versuche MAYER's über die volle Wassercapazität nochmals und zwar diesmal mit Rücksicht auf die Porosität betrachten:

	Quarz Vol.-%	Kalkspath Vol.-%	Gyps Vol.-%	Thonstein Vol.-%
Korn 1. Porenvolumen .	40,7	41,7	39,9	39,2
volle Wassercap.	19,1 (100)	20,5 (100)	22,3 (100)	26,1 (100)
Korn 2. Porenvolumen .	43,6	41,6	40,0	42,7
volle Wassercap.	38,4 (201)	34,9 (170)	39,24(175)	43,4 (166)
Korn 3. Porenvolumen .	45,7	39,6	44,5	41,4
volle Wassercap.	48,97(255)	39,23(191)	49,3 (221)	46,75(170)
Korn 4. Porenvolumen .	48,3	41,1	45,5	47,1
volle Wassercap.	49,95(261)	39,3 (191)	42,4 (190)	43,45(166)

Mit der Kleinheit des Kornes wächst die volle Wassercapazität und zwar sind die Differenzen weit grösser als die durch den mineralogischen Charakter bedingten. Während diese letzteren nicht über 36 % sich erstreckten, finden wir hier, dass mit der Feinheit des Kornes die Capacität um mehr als 150 %, also als das Anderthalbfache, zunehmen kann.

Wir finden in dieser Tabelle eine beachtenswerthe Coincidenz; je feiner das Korn, desto grösser wird die Uebereinstimmung zwischen der die volle Wassercapazität anzeigenden Grösse und dem Porenvolumen. Es ist das in dem Vorgange selbst begründet. Derselbe ist eine Folge der Anwesenheit von Capillarräumen im Boden, je kleiner nun das Korn des Bodens, desto grösser wird die relative Zahl der capillaren Hohlräume, bis endlich bei einer gewissen Kleinheit des Kornes sämtliche Hohlräume als Capillarräume existiren und dann das ganze Porenvolumen mit Wasser erfüllt wird. Ja das zurückgehaltene Wasser kann an Volumen selbst das Porenvolumen übertreffen, entweder in Folge der Porosität der einzelnen Bodenpartikel, Gyps, Thonstein, oder weil sich nach der Befeuchtung Lageveränderungen ausbilden.

In der Natur wird die volle oder grösste Wassercapazität nur zu gewissen Zeiten und in bestimmten Bodenschichten zu constatiren sein, in den oberen Bodenschichten, wenn sie sich in einiger Entfernung vom Grundwasser befinden, nur bei Niederschlägen. Constant wird sie nur in jenem Bezirke erscheinen, der unmittelbar an die vom Wasser vollkommen erfüllten Bodenschichten angrenzt, also oberhalb des Grundwassers sich vorfindet, und wird da, je nach der chemischen und physikalischen Bodenbeschaffenheit, verschieden hoch ansteigen, jedoch immer nur eine Schichte von höchstens einigen Centimetern erfüllen; da die Schwerkraft schliesslich die capillare

Hebung überwindet und es bleiben nur noch die feinsten Capillaren gefüllt; auf diese Weise etablirt sich im Boden ein Zustand, der der absoluten oder kleinsten Wassercapacität entspricht.

Die Schwankungen, die sich in dieser kundgeben, werden analogen Gesetzen folgen, wie die der vollen Wassercapacität, nur werden die Excursionen etwas anders ausfallen.

A. MAYER bestimmte dieselben beim Quarz, indem er den Boden 1 Meter hoch in Glasröhren von 1,7 Cm. Weite einfüllte, die unten mit Leinwand verbunden waren.

Die Glasrohre bestanden aus zwei mit einer Kautschukverbindung aneinandergefügten Stücken, von denen das untere 0,75, das obere abhebbare 0,25 Meter Länge hatte. Der Boden wurde von obenher gänzlich mit Wasser gesättigt und nachdem das überschüssige Wasser abgetropft war, aus dem oberen Theile der Röhre Erde zur Bestimmung des aufgenommenen Wassers entnommen; auf diese Weise waren die Fehler, die etwa durch die in den untersten Schichten etablirte volle Wassercapacität eintreten konnten, eliminirt.

Quarz Korngrösse	Absolute Wassercapacität
4. staubfein bis 0,3 Mm.	44,6% = 1000
3. 0,3—0,9 "	13,7% = (307)
2. 0,9—2,7 "	17,0% = (157)

RENK<sup>1)</sup> und HOFMANN<sup>2)</sup> und WOLLNY<sup>3)</sup> gehen in der Variation der Korngrösse noch weiter. RENK experimentirte mit Bodensäulen von 0,5 Meter und 0,24 Meter Höhe und vernachlässigte die in den untersten Bodenschichten etwa sich etablirende volle Wassercapacität. Als Material diente der sehr kalkhaltige Kies des Alpengerölls und die glacialen Schollen der bayrischen Hochebene.

Material	Korngrösse  Durchmesser kleiner als	Freies Poren- volumen	Wassercapacität		
			Von 100 Poren- volumen sind mit Wasser ge- füllt	1000 Chem. Boden enthalten Cubikcentimeter	
				Wasser	Luft
1. Feinsand . .	1/3—1/4 Mm.	55,5	65,1	361 (1000)	194 (100)
2. Mittelsand . .	1 "	37,9	47,0	195 (540)	220 (113)
3. Grobsand . .	2 "	37,9	23,4	89 (246)	290 (149)
4. Feinkies . .	4 "	41,5	7,8	29 (80)	350 (180)
5. Mittelkies . .	7 "	55,5	6,6	25 (69)	353 (182)

HOFMANN's Versuche waren mit ganz reinem Quarze vorgenommen, wie ihn das Leipziger Diluvium darbietet.

1) l. c. 2) HOFMANN, Grundwasser und Bodenfeuchtigkeit. Arch. f. Hygiene. I.

3) WOLLNY, Untersuchungen über die Wassercapacität der Bodenarten. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. VIII.

Material	Korngrösse Durchmesser kleiner als	Freies Poren- volumen	Absolute Wassercapacität		
			Von 100 Poren- volumen sind mit Wasser ge- füllt	1000 Cbcm. Boden enthalten Cubikcentimeter	
				Wasser	Luft
1. Feinsand . .	0,5 Mm.	41,3	84,0	347 (1000)	66 (100)
2. Mittelsand . .	0,5 =	41,3	65,4	270 (778)	143 (216)
3. Grobsand . .	1 =	40,0	37,5	150 (432)	250 (379)
4. Feinkies . . .	2 =	41,0	23,9	98 (282)	312 (472)
5. Mittelkies . .	3 =	41,8	18,4	77 (221)	341 (516)
6. Grobkies . . .	5 =	43,4	12,7	55 (158)	379 (574)

Ich habe die Befunde mit Rücksicht auf die Wassercapacität in absteigender Reihe gruppiert, um einen Vergleich zwischen den verschiedenen Bodenarten leichter zu gestalten, obzwar er bei den nicht ganz gleichmässigen Versuchsbedingungen nicht völlig durchzuführen ist. Bezüglich der Differenz in den quantitativen Verhältnissen zwischen den Resultaten RENK's und HOFMANN's sei hervorgehoben, dass das Alpengerölle im Allgemeinen grobporiger ist, als der Quarzboden. In den Versuchen RENK's und HOFMANN's ist auch noch die trotz der gesättigten Wassercapacität vorhandene Luft in Berücksichtigung gezogen worden; es erhellt aus denselben das wichtige Resultat, dass ein solcher Boden trotz seiner grossen Wassercapacität immer noch eine bedeutende Anzahl lufthaltiger Räume beibehält.

Die Unterschiede in der absoluten Wassercapacität sind also viel bedeutender als die in der vollen Wassercapacität, und zwar besonders je nach dem physikalischen Charakter des Bodens.

Der Lehm Boden und wohl auch die organischen Substanzen haben hier wieder eine exceptionelle Stellung. Quarzboden von einem Korndurchmesser von 0,010—0,071 Mm. hat eine absolute Wassercapacität von 35,56 Volumprocent, Lehmkrümel von 0,0—0,25 Mm. Durchmesser eine solche von 42,91. Quarzboden von einem Korndurchmesser von 1,0—2,0 Mm. hat eine absolute Wassercapacität von 3,66 Volumprocent, Lehm Boden von demselben Korndurchmesser dagegen noch 31,05 Volumprocent (WOLLNY).

In einer und derselben Bodenart, in verschiedenen Stadien der Zerkleinerung kann die Wassercapacität auf das 157- und wohl noch Mehrfache erhöht werden, wie schon MAYER hervorgehoben. Aus der Reihenfolge der Zahlen ist aber ersichtlich, dass die Zunahme nicht gleichmässig erfolgt. Sie ist anfangs eine allmähliche und steigt plötzlich viel stärker an. Das erklärt sich leicht aus der Betrachtung der Bodenarten resp. der durch sie in ihrer Grösse bestimmten Bodenporen. So lange der Durchmesser der letzteren grösser ist als der eines Capillarrohres, wird die Zahl der nicht capillaren Räume über die der capillaren bedeutend überwiegen müssen (Columnne 3—5 in der Tabelle nach RENK und Columnne 4—6 in der Tabelle nach HOFMANN). Geht aber der Durchmesser unter diese Grenze herab, dann werden fast sämtliche Räume zu Capillarräumen

und also die Wassercapacität mit einem Male eine bedeutend grössere. Es kommt aber bei diesen Versuchen auch auf die mehr oder weniger dichte Lagerung an. Dieselbe Bodenart RENK's aus Col. 2, die bei einer Lagerung, bei welcher sie 41,5% Porenvolumen hatte, eine Wassercapacität von 282 Cbcm. Wasser im Liter Boden darbot, zeigte bei einer lockeren Lagerung mit 55,5% Porenvolumen eine absolute Wassercapacität von nur 258 Cbcm. Aus diesem Beispiele, sowie aus den Tabellen überhaupt sehen wir ferner, wie wenig Uebereinstimmung zwischen der Porosität, dem Porenvolumen im Allgemeinen und der Wassercapacität ist. Das Porenvolumen ist in Col. 2 u. 3, ferner 1 u. 5 bei RENK, in Col. 1, 2 u. 4 von HOFMANN gleich gross, die Wassercapacität aber ausserordentlich verschieden.

Die absolute Wassercapacität hängt auch von gewissen ausserhalb des Bodens gelegenen Bedingungen, nämlich von der Art der Befeuchtung ab. Die Versuche RENK's weisen nach, dass wenn die Befeuchtung des Bodens von unten her erfolgt, die Wassercapacität eine bedeutendere ist, als wenn das Wasser von oben eindringt.

Material	Korngrösse  Durchmesser kleiner als	Freies Poren- volumen	Absolute Wassercapacität					
			Von 100 Poren- volumen sind mit Wasser ge- füllt		1000 Cbcm. Boden enthalten Cbcm.			
			von oben	von unten	Wasser bei Befeuchtung		Luft bei Befeuchtung	
			von oben	von unten	von oben	von unten	von oben	von unten
Feinsand . . . .	1/3—1/4 Mm.	55,5	65,1	77,6	363	430	194	125
Mittelsand . . .	1 =	37,9	47,0	68,1	195	283	220	132
Grobsand . . . .	2 =	47,9	23,4	31,2	89	118	290	261
Feinkies . . . .	4 =	41,5	7,8	16,9	29	64	350	315
Mittelkies . . . .	7 =	55,5	6,6	12,6	25	48	354	331

Die Ursache für diese Erscheinung ist wohl darin zu suchen, dass bei einer Befeuchtung von unten her, bei welcher die Luft, ohne einen Widerstand zu überwinden, frei nach oben ausweichen kann, die Capillarräume vollständiger mit Wasser gefüllt werden, während bei einer Befeuchtung von oben her das in die engsten Capillaren eindringende Wasser mitunter einen noch gefüllten Luftraum zum Verschluss bringt, und nun selbst einen derartigen Widerstand darbietet, dass die Luft aus demselben nicht entweichen kann. Ferner auch darin, dass bei dem Aufsteigen des Wassers von unten her die Bodenpartikel viel vollständiger vom Wasser umspült werden, und also auch mehr Wasser durch blossе Adhäsion haften bleibt.

Mit Rücksicht auf den Umstand, dass eine Durchfeuchtung gewisser Bodenschichten in der Natur gleichfalls von unten her erfolgen kann, ist dieser Thatsache eine grössere Beachtung zu widmen. Es



wurde oben S. 40 u. 76 auf die grossen Zahlenunterschiede aufmerksam gemacht, die sich ergeben, wenn man — ausgehend von einem homogenen, aus regelmässigen, kugeligen Elementen zusammengesetzten Boden — die Summen der Oberflächen dieser Kugeln bei wechselndem Radius berechnet; es wurde, anknüpfend hieran, das Gasvolumen berechnet, das auf diese Weise durch Adhäsion in einem solchen künstlichen Boden festgehalten werden kann. In analoger Weise können wir die Wassermengen berechnen, die durch Adhäsion an den Bodenkörnchen festgehalten werden. Bezeichnen wir die Höhe der Schicht, in welcher das Wasser die Bodenkörner bedeckt, mit  $h$ , so berechnet sich der Cubikinhalt dieser Wasserhülle ( $W$ ) nach der Formel  $W = \frac{4}{3} \pi (r + h)^3 - \frac{4}{3} \pi r^3$ .

Es lässt sich auf experimentellem Wege zeigen, dass bei Herbeiführung der absoluten Wassercapacität derartige Hüllen von mindestens 0,015 Mm. Höhe bestehen können. Wenn wir nach der soeben angeführten Formel diese Mengen ausrechnen, dabei aber von einer noch viel kleineren Wasserhülle: 0,005 Mm. ausgehend, so erhalten wir folgende Zahlen:

Halbmesser des Korns Mm.	Wasserhülle bei 0,005 Mm. Höhe Cbm.	Wassermenge im Liter	
		bei dichter Lagerung	bei lockerer Lagerung
0,005	0,0000037	5,180000 Cbm. = 5,180 Liter	3,668000 Cbm. = 3,668 Liter
0,010	0,0000099	1,757284 " = 1,757 "	1,244319 " = 1,244 "
0,050	0,0001733	244948 " = 0,245 "	173442 " = 0,173 "
0,100	0,0006602	116640 " = 0,117 "	82594 " = 0,083 "
0,500	0,0158655	22422 " = 0,022 "	15827 " = 0,016 "
1,000	0,0631469	11155 " = 0,011 "	7899 " = 0,008 "
5,000	1,5723000	2221 " = 0,002 "	1573 " = 0,002 "
10,000	6,2823000	1109 " = 0,001 "	786 " = 0,001 "

Auf diese Weise wird es verständlich, welch ausserordentlich grosse Rolle die Verkleinerung der Bodenpartikel bei der Wasseraufnahme spielen muss (A. MAYER, DELESSE). Natürlich wird in solchen extremen Fällen, wie sie in den beiden ersten Horizontalreihen dargestellt sind, die Wasseraufnahme mit einer bedeutenden Volumvermehrung einhergehen<sup>1)</sup>.

Diese wechselnden Zustände von Feuchtigkeit im Boden haben ihre grosse hygienische Bedeutung, die freilich bisher nicht genügend erforscht ist. Besonders das Wachsthum der Entwicklung niederer Organismen wird hierdurch wesentlich beeinflusst. NÄGELI<sup>2)</sup> zeigt,

1) SOYKA, Beobachtungen über die Porositätsverhältnisse des Bodens. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. VIII.

2) Die niederen Pilze. München 1877.

dass ein geringer Wassergehalt die Entwicklung der Schimmelpilze begünstigt, während Spaltpilze verkommen und zu Grunde gehen. HOFMANN (l. c.) beobachtete wiederholt, dass Kinderleichen, welche in die oberflächliche und deshalb zur Sommerzeit leichter trocknende Schicht der Kindergräber beerdigt waren, hauptsächlich der Zerstörung durch Schimmelpilze anheim fielen, während die ihrer Grösse wegen schwerer austrocknenden und tiefer liegenden Leichen von Erwachsenen in dem gleichen Friedhofsboden durch Fäulniss aufgelöst wurden. Ich <sup>1)</sup> konnte auf experimentellem Wege nachweisen, dass die Lebensthätigkeit der Hefepilze durch die wechselnde Bodenfeuchtigkeit in ausserordentlicher Weise beeinflusst wird; dass mit einer Abnahme oder Zunahme der Feuchtigkeit aber ein gewisses, sich als optimum erweisendes Maass der Gährung gehemmt wird, ja durch eine Abnahme bis unter eine bestimmte Grenze vollständig gehemmt wird, und dies innerhalb Feuchtigkeitsgrenzen, wie sie HOFMANN im natürlichen Boden wirklich vorgefunden hat, dass ferner die Bildung von Dauerformen (Sporen) bei Spaltpilzen gleichfalls abhängig ist von den Schwankungen der Bodenfeuchtigkeit <sup>2)</sup> (vgl. auch Cap. VI).

Diese Thatsachen und Erwägungen rechtfertigen demnach die grosse Aufmerksamkeit, die wir der Bodenfeuchtigkeit und den ihre Schwankungen beeinflussenden Factoren zuwenden.

## VII. Capillare Leitung des Wassers im Boden.

Die im vorigen Abschnitt geschilderten Veränderungen im Wassergehalt stehen in der Natur in innigem Zusammenhang mit der Bewegung des Wassers im Boden. Aus diesem Grunde, ebenso aber auch, weil mit dieser Bewegung die Frage nach dem Transport der gelösten wie geformten Verunreinigungen, der Concentration der letzteren, der Verdunstung, den Temperaturveränderungen u. s. w. verbunden ist, verdient der Gegenstand seine Bedeutung.

Im Anschluss an die mit der Wassercapillarität des Bodens so eng verknüpfte Wassercapacität wollen wir zuvörderst die capillaren Bewegungen des Bodens in Betracht ziehen.

### *I. Aufwärtsbewegung des Wassers im Boden.*

Stellt man eine mit irgend einer Bodenart gefüllte Glasröhre in ein Gefäss mit Wasser, so sieht man, wie das Wasser anfangs sehr rasch in den Boden eindringt, in demselben aufwärts steigt, bis all-

1) SOYKA, Die Lebensthätigkeit niederer Organismen bei wechselnder Bodenfeuchtigkeit. Prager medicin. Wochenschrift. 1885.

2) Idem, Bacteriolog. Untersuchungen u. s. w. Fortschritte der Medicin. 1886.

mählich die Intensität abnimmt und es schliesslich zu einem scheinbaren oder wirklichen Stillstand kommt.

Es ist vorauszusetzen, dass die verschiedenen Bodenarten, je nach ihrer chemischen Beschaffenheit und ihrer Structur, sich verschieden verhalten werden. LIEBENBERG <sup>1)</sup> hat eine Reihe von Bodenarten auf diese Fähigkeit hin untersucht und die Resultate in der Weise zusammengestellt, dass er ersichtlich macht, in welcher Zeit eine bestimmte Steighöhe erreicht worden war. (Die Steighöhe in Centimetern angegeben.) Vgl. die Tabelle auf S. 92.

Es prägen sich in dieser Tabelle aufs Deutlichste grosse Verschiedenheiten aus, um jedoch einen Einblick in diesen Vorgang zu gewinnen, wird es nöthig sein, denselben wieder nach jedem einzelnen der betheiligten Momente zu zerlegen; so ist es z. B. in diesem Falle fraglich, welchen Antheil die jeweilige mechanische, welchen die chemische Zusammensetzung des Bodens besitzt, ja wir werden bei der Beurtheilung der capillaren Wasserleitung in diesem Vorgange selbst wieder zwei Phasen zu unterscheiden haben. Die Verschiedenheiten im capillaren Wasserleitungsvermögen sprechen sich aus, einmal in der Höhe, bis zu welcher das Wasser gehoben und womit die Grösse des Wasserleitungsvermögens gekennzeichnet wird, dann aber in der Geschwindigkeit, mit welcher das Aufsteigen des Wassers bis zu einer gewissen Höhe erfolgt. Bezüglich der Grösse des Leitungsvermögens, zu dessen Constatirung die Versuche so lange fortgesetzt werden müssten, als überhaupt ein Aufsteigen von Flüssigkeit erfolgt, sei vorausgeschickt, dass bei dem Umstande, dass die entsprechenden Versuche meist nach einer kürzeren oder längeren Untersuchung abgebrochen wurden, zu einer Zeit, wo noch Niveauveränderungen, noch ein wenn auch nur minimales Aufsteigen von Flüssigkeit stattfand, wir kaum richtige absolute Werthe werden angeben können. Immerhin können wir aber aus Versuchen, die eine längere Zeit fortgesetzt wurden, die relativen Werthe für dasselbe benützen, da über eine gewisse Zeit hinaus manche der entscheidenden Differenzen verschwinden.

Analog dem Vorgange, den wir bei den Beziehungen des Bodens zur Luft eingehalten haben, wollen wir auch hier zuerst den Einfluss des chemischen resp. mineralogischen Charakters der Bodenconstituenten auf die Capillarität verfolgen. Er dürfte nach den bisherigen Erfahrungen, die bei der Permeabilität für Luft und bei der Wassercapacität gemacht wurden, nicht allzu bedeutend in die Erscheinungen treten, auch werden wir hier wieder der Schwierigkeit begegnen,

1) LIEBENBERG, Ueber d. Verhalten d. Wassers im Boden. Inaug.-Diss. Halle 1873.

Höhe (in Cm.), bis zu welcher das Wasser ge- stiegen war nach:	Grober Tertiärsand	Malmlehm	Lössmergel	Humöser Lösslehm	Lösslehm	Feiner Diluvialsand	Lehmmergel	Basaltboden	Granitboden	Röthboden	Lehm	Malmmergel	Feiner Tertiärsand	Auelehm, Krume	Auelehm, Untergrund	Muschelkalk	Sandmoor	Mittelfeiner Tertiärsand	Porphyr congl.	Porphyr. verwittert	Grober Diluvialsand	Thon
1/2 Stunde	18,5	7	15	17	8	29	14	13,5	7	6	20	10	21,5	9	11	8	11	26	7	10,5	16	0,3
1 1/2 "	23	11	24	22,5	12	39	23	13	10,5	9	25	15,5	30	11	15,5	10	16,5	31	8	11	17,5	0,6
1 Tag	76	41,5	69	55	40	63	45	31	26	26,5	38,5	55,5	44	21	35	20	31	41	15	21	20	3,5
3 Tagen	101,5	60	92	70	58	70	55	37	35	38	46	63	47	31	44,5	28	38	43	21	25	21	6
6 "	112	75	102	79	71	72	69	43	42	46	51	+	50	39	48	35	42,5	45,5	27	29	22,5	9
12 "	118	93	105	87	86,5	74,5	66,5	50,5	51	54	55,5	53,0	57,5	46,5	50,8	44	46	48	32,5	34	25,2	15
18 "	118,6	104	108	91,5	94,5	76	70	56	56	58	58,5	57,5	51,5	54	52,5	48,5	48,2	49	36,5	37	26,8	19,5
22 "	119	108	110	93,5		76,6	71,5	59	59	60,5	60,5	59,2	54	54	54	50,5	49,3	50,5	38	38	27,8	21,5
24 "	113,2	109,5	+	94,5		77	72,5	61,5	61,5	61	61,5	59,5	54,8	54,8	54,5	51,5	50	51	38,8	38,6	28,1	22,5
29 "	119,7	112		98		78	74	64	64	63,3	63,4	61	57,8	57	56	54	50,5	*	40,3	40,2	28,6	25,7
31 "	120	113		98,5		78,4	75	65	65	64	64,2		*	58,8	56,2	54,6	50,7		41	40,8	28,8	26
33 "	*	114		99,5		78,8	75,6	66	66	64,6	65			59,5	56,5	55,4	50,9		41,4	41,2	29	27
35 "		114,8		100		79,2	76,2	67	67	65,4	65,5			59,5	56,8	56,2	51,1		41,8	41,8		27,8
36 "		115,2		101				67,5	67,5	65,8				59,8	57	56,5			42	42		28

\* Die mit diesem Zeichen versehenen Boden zeigten kein weiteres Steigen des Wassers.

† Boden mit diesem Zeichen haben sich zusammengezogen, in Folge dessen ihre Continuität zerissen und kein Wasser mehr aufgenommen wurde.



dieses Moment rein ohne Complication mit dem Einfluss des physikalischen resp. chemischen Charakters zu studiren, da ja die einzelnen Bodenpartikelchen durch ihre chemische Beschaffenheit Verschiedenheiten in ihrer Structur, ihren Begrenzungsflächen u. s. w. zeigen. Die Bedingungen für die capillare Leitung liegen ja nicht allein in der durch die chemische Natur des Körpers bedingten Benetzbarkeit derselben, dem Winkel, den die Flüssigkeit mit der Körperoberfläche bildet, sondern auch in der Beschaffenheit der den Capillarraum begrenzenden Körper, in der Form der Capillaren.

Von wesentlicher Bedeutung wird auch sein, ob die Substanzen selbst wieder porös sind, ob sie sich durch Wasseraufnahme in ihrem physikalischen Zustande ändern (wie z. B. Thon, Torf). MEISTER gibt eine allgemeine Charakteristik verschiedener Boden, nach welcher dem Thonboden die grösste capillare Leitungsfähigkeit zugeschrieben werden kann, daran reihen sich die humösen Boden, dann folgen die sandreichen, endlich der Gyps- und Kreideboden. Die Reihenfolge für die Schnelligkeit der Leitung ist eine etwas andere. In sandreichem Boden vollzieht sich die Leitung rasch, im Thon-, Torf- und Kreideboden dagegen viel langsamer.

EDLER's <sup>1)</sup> Untersuchungen, die wir zur quantitativen Beurtheilung der Grösse der capillaren Leitungsfähigkeit heranziehen wollen, haben als Versuchsmaterial drei Bodenarten, Diluvialmergel, Diluviallehm und Tertiärsand; die Korngrösse war 0,1—0,05 Mm. Durchmesser, ein immer noch relativ grosser Spielraum in den Dimensionen, der den Werth der Resultate beeinträchtigt. Die Versuche fortgesetzt bis zum Zeitpunkt, wo die Steigung des Wassers gleich 0 geworden war, ergeben:

		Diluvial- mergel	Diluvial- lehm	Tertiär- sand
Das Wasser war gestiegen am	1. Tage	39,5 Cm.	56 Cm.	57,75 Cm.
	2. "	50,5 "	63,5 "	63 "
	5. "	62,5 "	67,5 "	66,5 "
	10. "	65,75 "	68,25 "	68 "
	21. "	68,25 "	69,25 "	70,25 "
	37. "	69,25 "	70 "	71,5 "
	38. "	69,75 "	70,5 "	72 "
	71. "	—	—	73,5 "
	89. "	—	—	74,25 "
	106. "	—	—	74,75 "

Die Differenzen in der Grösse des Leitungsvermögens sind nun ziemlich unbedeutend; doch ist auch die Zahl der Materialien eine etwas beschränkte und ihre Auswahl eine zu wenig mannigfaltige.

1) EDLER, Die capillare Leitung des Wassers. Inauguraldissertation. 1883.

Grössere Differenzen erhalten wir, wenn wir die andere Seite der Frage ins Auge fassen, die Schnelligkeit, mit der bei einzelnen Materialien die Leitung erfolgt. KLENZE<sup>1)</sup> brachte vier Bodenarten auf möglichst gleiches Korn (unter 0,3 Mm.): 1. weissen Marmor; 2. reinen Quarz, beide gepulvert; 3. Torf aus dem Kolbenmoor bei Rosenheim (Bayern) mit nur 1% Sand und Asche; 4. Kalksand von einem natürlichen humösen Kalksandboden.

Die Schnelligkeit, mit der das Wasser aufstieg, gibt sich in folgenden Zahlen kund:

	Marmor- staub	Quarz- staub	Torf	Kalk- sand	Quarz- boden
	I.	II.	III.	IV.	V.
	Cm.	Cm.	Cm.	Cm.	Cm.
Das Wasser war gestiegen nach 15 Min.	3,0	5,0	7,5	20,0	16,7
Zunahme nach weiteren 15 Minuten	2,6	3,5	2,2	6,9	3,8
" " " " "	1,0	1,2	0,7	1,9	1,1
" " " " "	1,0	1,3	0,4	2,1	1,4
" " " " "	1,2	1,3	0,6	2,4	1,4
" " " " "	1,0	1,5	0,6	1,9	0,9
" " " " "	0,6	1,2	0,5	0,7	0,9
" " " " "	0,6	1,0	0,3	1,6	0,8
" " " 60 "	2,6	3,5	0,1	2,5	2,3

Die Schnelligkeit ist, wenigstens zu Beginn des Versuches, eine sehr verschiedene, variirt bis in das Siebenfache und, mit Ausnahme des Torfes, bei dem wegen der eigenthümlichen Quellungserscheinungen ein Vergleich mit den anderen Materialien nicht recht zulässig ist, behalten die Materialien ihre Reihenfolge auch bei nach der Schnelligkeit, mit der der Auftrieb des Wassers erfolgt.

Bei den Versuchsböden EDLER's, die ein viel feinkörnigeres Material enthielten (Durchmesser 0,1—0,05 Mm.), müssen die Capillari-täterscheinungen sich viel deutlicher ausprägen. Das Aufsteigen der Zeit nach erfolgte nach folgender Reihe:

	Diluvial- mergel	Diluvial- lehm	Tertiär- sand
	5 Cm.	12 Cm.	14,5 Cm.
Das Wasser war gestiegen nach 10 Min.	5 Cm.	12 Cm.	14,5 Cm.
Zunahme nach weiteren 15 Minuten	3,5 "	4,25 "	9, 0 "
" " " 155 "	8,5 "	16,5 "	23,5 "
" " " 21 Stunden	22,5 "	17 "	10,75 "
" " " 24 "	11,0 "	7,5 "	5,25 "
" " " 24 "	5,75 "	2,25 "	2,0 "
" " " 7 Tagen	9,50 "	2,50 "	3,0 "
" " " 11 "	2,50 "	1,0 "	2,25 "
" " " 17 "	1,50 "	1,25 "	1,70 "

1) KLENZE, Untersuchung über die capillare Wasserleitung im Boden und die capillare Sättigungscapacität für Wasser. Landwirthschaftl. Jahrbücher. 1877.

Es herrscht in diesen Reihen eine gewisse Unregelmässigkeit. Der Tertiärsand, der ursprünglich die beiden anderen Materialien an Leitungsfähigkeit des Wassers weit übertrifft, tritt dann in den Hintergrund, offenbar zu jener Zeit, wo die Schwere der gehobenen Wassersäulen die Capillaritätswirkung zu sehr beeinträchtigt; scheint aber schliesslich gegenüber den beiden anderen Materialien ein Uebergewicht wieder zu gewinnen. Diluviallehm und Diluvialmergel, die sich mit Rücksicht auf die Grösse des Wasserleitungsvermögens analog verhalten, zeigen in Bezug auf die Schnelligkeit derselben ebenfalls wechselnde Verhältnisse. Ursprünglich ist die des Lehms eine viel bedeutendere und nach Erreichung einer bestimmten Höhe gegen die des Diluvialmergels zurückgetreten. Inwiefern der Kalkgehalt des Diluvialmergels, der 4,08% betrug, dieses Resultat beeinflusst, lässt sich aus den Versuchen nicht eruiren.

Die Differenzen sind hier kleiner als bei den Versuchen von KLENZE. Es hängt dies offenbar damit zusammen, dass die Dimensionen der untersuchten Materialien und damit auch die der Capillarräume geringere sind. Hierdurch wird wahrscheinlich, dass bei noch kleinerem Korn die Unterschiede sich noch weiter verwischen und endlich gleich 0 werden. Einen Beleg dafür liefert die nachstehende, ebenfalls aus den Versuchen EDLER's zusammengestellte Tabelle, bei

## Korngrösse unter 0,01 Mm.

	Kaolin	Diluvial- lehm	Diluvial- mergel	Kreide
	Cm.	Cm.	Cm.	Cm.
Das Wasser war gestiegen nach 1 Stunde	2,00	3,00	3,50	2,50
Zunahme nach weiterer 1 Stunde	1,00	1,25	1,00	1,00
„ „ „ „ „	0,50	0,50	0,75	1,50
„ „ „ „ „	0,50	0,50	0,75	
„ „ „ „ „	0,50	0,50	0,50	0,50
„ „ „ „ „	0,50	0,50	0,75	0,50
„ „ „ 18 Stunden	4,50	4,75	7,25	6,25
„ „ „ 24 „	4,00	3,75	5,50	5,25
„ „ „ 24 „	3,00	3,00	3,50	4,00
„ „ „ 12 Tagen	18,00	19,00	27,50	26,00

der das Material ein noch feineres (0,01 Mm. Durchmesser) gewesen; während bei einem Durchmesser von 0,05—0,1 Mm. die Unterschiede noch ungefähr das Dreifache betragen, gehen sie hier nicht über das 1,8fache hinaus und verschwinden auch viel früher, ungefähr nach 4 Stunden. Das spricht nun wieder dafür, dass die Porosität die mechanische Anordnung, kurz die physikalische Beschaffenheit die capillare Leitungsfähigkeit viel mächtiger zu beeinflussen vermag, als der verschiedene petrographische resp. mineralogische Charakter einer Gegend; aber insofern die verschiedenen petrographischen resp. mineralogischen Constituenten verschiedene mechanische Lagerung,

verschiedene Aneinanderlagerung und Zertrümmerung erleiden, kurz insofern sie den physikalischen Charakter des Bodens bedingen, insofern macht sich ihre grosse Bedeutung geltend, wie auch die Eingangs angeführte Tabelle LIEBENBERG's ergibt.

Klarer und anschaulicher liegen die Verhältnisse zu Tage bei Betrachtung des physikalischen Momentes. Auch hier haben wir, wenn wir von der Grösse der capillaren Leitung sprechen, selten erschöpfende Resultate zu registriren. Die Beobachtungen wurden so lange fortgesetzt, bis eben die Zunahme ziemlich gleichmässig zu einer minimalen geworden war.

Zu quantitativer Beurtheilung stellen wir die Versuche von KLENZE mit Sandboden und EDLER mit Diluviallehm zusammen mit den sogenannten feinsten Theilen aus dem Staube:

	Sandboden				
	I.	II.	III.	IV.	V.
Korngrösse (Durchmesser in Mm.) . . . .	< 6,75	< 4	< 2,5	< 0,74	< 0,3
Das Wasser war ge- } ersten Tage . . . .	1,0	2,0	4,0	12,6	33,2
stiegen um Cm. am } Schluss*) des Versuchs	2,0	3,5	4,9	16,0	38,2
	Diluviallehm				
Korngrösse (Durchmesser in Mm.) . . . .	1,0—0,5	0,5—0,25	0,1—0,05		0,01
Das Wasser war ge- } ersten Tage . . . .	6	16	56		11
stiegen um Cm. am } Schluss*) des Versuchs	10	27	70,5		97,25

\*) Bei KLENZE am 8. Tage, bei EDLER am 38. resp. 142. Tage.

Das Wasser wird, den physikalischen Gesetzen entsprechend, um so höher capillar gehoben, je feiner unter sonst gleichen Verhältnissen die Partikel desselben Bodens sind. Die Höhen, bis zu welchen das Wasser innerhalb 8 Tagen gehoben wurde, betrug bei dem Korn V (< 0,3 Mm.) das 20fache der bei Korn I (6,7 Mm.) erzielten. Es wird die Zunahme dieses Leitungsvermögens desto bedeutender sein, je kleiner das Korn und damit die Capillarräume werden, im Einklang mit den physikalischen Gesetzen, nach welchen die gehobenen Wassersäulen sich umgekehrt verhalten wie die Durchmesser der Röhren.

Wichtig ist auch für die in der Natur sich abspielenden Vorgänge das Verhalten des Bodens in den Versuchsröhren, wenn man die Quelle der Befeuchtung, die sich am unteren Ende der Röhren befindet, entfernt. Das Wasser steigt, wie LIEBENBERG <sup>1)</sup> beobachtet

1) LIEBENBERG l. c.



hat, auch dann noch auf, geht gegen die Oberfläche zu weiter, nur füllen sich hierbei die Capillaren nicht gänzlich mit Wasser, sondern nur ihre Wandsubstanz umkleidet sich mit einer Wasserschicht. Für die Frage der Feuchtigkeit der oberen Bodenschichten, des Wassergehalts der Bodenluft, der Verdunstung von Seite der Bodenoberfläche, ferner der directen Communication zwischen den einzelnen Bodenschichten, endlich für den capillaren Transport gewisser Bodenbeimengungen bis an die Oberfläche ist dieses Verhalten von grosser Bedeutung.

Anders ist jedoch das Verhalten, wenn wir die Geschwindigkeit ins Auge fassen, mit der das Aufsteigen erfolgt.

Um dies aus den Versuchen von KLENZE und EDLER zu ersehen, ist es nothwendig, den Gang der Wasserleitung zeitlich noch genauer zu verfolgen, nach kürzeren Intervallen. Wir wählen hierzu eine vergleichende Zusammenstellung der Versuche EDLER's, die mit Diluviallehm angestellt wurden.

	1	2	3	4	5
	Diluviallehm:				
	I.	II.	III.	IV.	
Korngrösse: . . . . .	1,0—0,5	0,5—0,25	0,1—0,05	0,01	
Das Wasser war gestiegen nach					
24 Stunden: . . . . .	6 Cm.	16 Cm.	56 Cm.	11 Cm.	
Zunahme nach weiteren 24 St.: . . . . .	0,5 =	1,75 =	7,5 =	3,75 =	
„ „ „ „ . . . . .	0,5 =	0,75 =	2,25 =	3,00 =	
„ „ „ „ . . . . .	0,5 =	1,5 =	1,00 =	2,0 =	
„ „ „ „ . . . . .	0,5 =	1,5 =	0,75 =	2,0 =	
„ „ „ „ . . . . .	0,25 =	0,5 =	—	2,00 =	
Wasserhöhe am Schlusse der					
Versuche: . . . . .	10 =	27 =	70,5 =	97,25 =	
	(am 126. Tage)	(am 55. T.)	(am 38. T.)	(am 142. T.)	

Wir sehen aus dieser Tabelle, dass bis zu einer gewissen Grenze (Columnen 2—4) das Leitungsvermögen auch seiner Geschwindigkeit nach mit der Capillarität, mit der Feinheit des Korns zunimmt. Die ursprüngliche Steighöhe und das Wachsen derselben in bestimmten Intervallen nimmt von Korn I—III zu. Anders ist dies bei Korn IV, einem Kornmaterial von 0,01 Mm. Durchmesser. Die Steighöhe ist hier in den ersten Tagen eine viel geringere als bei den zwei nächst grösseren Kornsorten und auch die Zunahme bleibt hinter der des nächst grösseren Korns zurück. Dies ändert sich aber rasch. Schon am dritten Tage ist die Zunahme grösser und bleibt es auch von da an, resp. wird relativ noch grösser, da bei den anderen Korngrössen die Zunahme eine immer geringere wird. So

zeigt das Korn III (0,1—0,05 Mm.) vom 27.—31., 31.—35., 35.—38. Tage eine Zunahme der Wasserhöhe von nur 0,25 Cm., das Korn IV (0,01 Mm.) dagegen von 3,25, 2,75, 2,00 Cm., also das 13—8fache der ersteren und so muss endlich der Fall eintreten, dass die Steighöhe dieser Kornsorte die der anderen weit übertrifft.

Die Ursache dieses Verhaltens liegt darin, dass bei dem Vorgehen des Aufsteigens von Flüssigkeiten in Capillaren drei physikalische Vorgänge in wechselnd überwiegendem Einflusse zusammenwirken, — die durch die Capillarität hervorgebrachte Hebung des Wassers, die der Hebung des Wassers entgegenwirkende Schwere und der durch die Capillaren gegebene Widerstand. — In der ersten Zeit, unmittelbar nach dem Beginne des Versuchs, so lange die Schwere des aufsteigenden Wassers nicht in Rechnung gezogen zu werden braucht, können die etwas weiteren Capillaren im Vortheil sein, da der Reibungswiderstand in ihnen ein viel geringerer ist. Tritt aber einmal die Schwerkraft des gehobenen Wassers in Action, so wird dieses bei den weiteren Capillaren, in denen ja die Wassersäulen eine grössere Basis, also auch ein grösseres Gewicht besitzen, eine viel grössere Beeinträchtigung herbeiführen, als bei den engeren und wird schliesslich auch den durch den geringen Reibungswiderstand hervorgebrachten Vortheil compensiren, so dass nun die in Folge der engeren Poren gesteigerte Capillaritätswirkung sich geltend macht.

Jedenfalls ist aber als ein wichtiges Resultat dieser Betrachtung im Auge zu behalten, dass die Schnelligkeit der capillaren Leitung nicht identisch ist mit der Capillarität im Allgemeinen, d. h. mit der Intensität des capillaren Leitungsvermögens, ja dass sie gerade bei jenen Bodenarten des feinsten Kornes, die das eminenteste capillare Leitungsvermögen für Wasser besitzen, in einem gewissen Gegensatze zu einander stehen.

Die Verhältnisse der capillaren Wasserleitung kommen zur Geltung, wenn es sich darum handeln wird, den Feuchtigkeitsgehalt eines Bodens zu beurtheilen, bei welchem es sich um einen in der Tiefe befindlichen Wasservorrath handelt. Die Hohlräume im Allgemeinen werden eine Bewegung des Wassers in horizontaler und bei Zunahme der Wassermenge auch in verticaler Richtung zulassen; die capillaren Räume werden aber diese Wassermenge auf weit grössere Strecken transportiren, diese Schwankungen besonders in verticaler Richtung nach viel entfernteren Regionen fortpflanzen, als dies direct durch das angesammelte Wasser geschehen kann; besonders wenn wir berücksichtigen, dass die Wasserleitung auch dann

noch erfolgt, wenn von unten her kein Wasser mehr nachrücken kann, wenn der Wasservorrath unten zu wirken aufgehört hat (S. 96). Es wird dann verständlich, dass zwei benachbarte Stellen, deren Bodenbeschaffenheit im Grossen und Ganzen ziemlich analog ist, doch durch gewisse Differenzen in der Lagerung, in der Grösse, Form und Mischung der Bodenbestandtheile nicht unwesentliche Verschiedenheiten in der Wasserleitung und damit in dem Wassergehalt zeigen können. Und wenn diese Wasserleitung schliesslich bis an die Oberfläche erfolgt, so wird hiermit auch die Verdunstung und damit wieder in reciproker Weise die Höhe der im Boden vorhandenen Wassersäule modificirt. (Vergl. Grundwasser.)

Es werden sich auf diesem Wege Vorgänge abspielen, die sich nicht auf den Wassergehalt des Bodens allein beziehen. In dem den Boden infiltrirenden Wasser, dem Grundwasser, das oft aus weit entfernten Gegenden, eventuell auch aus Gegenden mit etwas anderem geologischen Bau herbeiströmte, finden sich viele organische und unorganische Substanzen gelöst, oft auch körperliche Theile, suspendirter Organismen vertheilt, vorausgesetzt, dass die filtrirende Eigenschaft des Bodens dies zulässt. Ausserdem dringen von oben her Stoffe in den Boden ein, die in wechselnde Tiefe zwischen Oberfläche und Grundwasser gespült werden. Diese Substanzen gelangen nun entweder direct in Folge der capillaren Aufsaugung<sup>1)</sup> oder indirect, die gelösten durch Osmose, die Organismen vielleicht durch Eigenbewegungen, durch ihr Wachsthum in höhere Schichten, bis zu welchen das Wasser capillar aufsteigt, und umgekehrt werden durch das aufsteigende Wasser die Substanzen in den höheren Bodenschichten verdünnt, ausgelaugt, ändern überhaupt ihre Concentrationsverhältnisse, auch unter Mitwirkung der Verdunstung, oder treten in das Grundwasser über. Auch die Temperaturverhältnisse des Bodens werden, wie weiter unten gezeigt wird, durch den Wassergehalt wesentlich modificirt. Durch alle diese Momente werden aber gerade gewisse biologische Erscheinungen, die Entwicklung, die Lebensthätigkeit und die Vertheilung niedriger Organismen in eminenter Weise beeinflusst werden. (Vergl. Cap. IV und Theil II, Cap. 2.)

## *II. Die Leitung nach abwärts.*

Der unbedeckte Boden hat auch häufig die Aufgabe, Wasser, Flüssigkeiten von oben nach abwärts zu leiten. Die Niederschläge,

1) SOYKA, Experimentelles zur Theorie der Grundwasserschwankungen. Prager medicin. Wochenschrift. 1885.

die auf denselben auffallen, fliessen dort, wo ein geneigtes Terrain ist, zwar zum Theil oberflächlich ab, ein Theil jedoch dringt in den porösen Boden ein und wird eine, je nach den Umständen wechselnde Tiefe erreichen. Ferner gelangen reichlich Flüssigkeiten auf die Bodenoberfläche, die als Abfälle des menschlichen Haushalts, als Producte menschlichen und thierischen Stoffwechsels eine reiche Vegetation niedriger Organismen enthalten oder zum mindesten reichliches Nährmaterial für diese Lebewesen in sich tragen. Diese werden dort, wo ein für Flüssigkeiten durchgängiger Boden vorhanden ist, in diesen eindringen.

Das Wasser, das auf einen porösen Boden auffällt, wird, den Gesetzen der Schwere folgend, immer tiefer zu sinken suchen, so lange, bis es auf eine Schichte trifft, die für Wasser undurchlässig ist, wo dann eine horizontale Ausbreitung erfolgt. Ein Theil des Wassers wird jedoch vermöge der Wassercapacität des Bodens in demselben festgehalten, und erst der Ueberschuss von demselben wird zum Abfluss gelangen. Die Capillarität des Bodens wirkt also diesem Absinken des Wassers im Boden entgegen, modificirt sowohl die Qualität des Wassers, das nach unten hin abfließt, als auch die Quantitäten, die bis an die tiefste Stelle gelangen. Wir werden bezüglich dieser Abwärtsbewegung zwei Fälle zu unterscheiden haben. Den einen Fall, bei welchem Wasser auf einen vollständig trockenen Boden auffällt und in denselben eindringt; den zweiten Fall, bei welchem der Boden seine Sättigungscapacität erreicht hat, und nun den Ueberschuss an die unteren Bodenschichten abgibt.

Im ersten Falle spielt die absolute Sättigungscapacität eine grosse Rolle, die einzelnen Bodenschichten, von oben nach abwärts gehend, müssen sich erst capillar mit Wasser sättigen; und insofern muss für die Quantitäten, die zum Abfluss gelangen, die absolute Wassercapacität ein directer Maassstab sein. Die Schnelligkeit, mit der diese Sättigung und Abwärtsbewegung erfolgt, wird wieder eine verschiedene sein, je nach der mineralogischen und physikalischen Beschaffenheit des Bodens.

Für die Art und Weise, in welcher sich der verschiedene mineralogische Charakter des Bodens geltend macht, gibt uns eine Zusammenstellung ORTH's<sup>1)</sup> einigen Maassstab an die Hand. Die sichtbare Eindringungstiefe senkrecht nach unten betrug auf einen Theil Wasserhöhe, welcher auf den Boden gelangt, im Mittel

---

1) ORTH in Eulenberg's Handbuch des öffentl. Gesundheitswesens. Artikel „Boden“.



bei	grobem Sand	mittelkörnigem Sand	feinem Sand	Flugsand	Lehmigem Sand	
					humushaltig	humusfrei
das	2 fache	11 fache	7 fache	3 fache	9 fache	13 fache
bei	Lehm	Lehmmergel	Schwarzerde	Löss	Thon	Kalkmergel
das	6 fache	8 fache	6 fache	7 fache	3 fache	4 fache

Wir haben aber hier wieder die Einschränkung zu machen, dass in diesem Befunde der Einfluss der physikalischen Momente nicht eliminirt ist.

Es werden diese durch den mineralogischen Charakter hervorgerufenen Differenzen bedingt sein durch die Adhäsion des Wassers an die Bodenbestandtheile, aber auch durch die Veränderungen, die die Bodenbestandtheile mitunter selbst durch das eindringende Wasser erleiden. Einzelne Materialien erfahren durch das Eindringen des Wassers gewisse Quellungserscheinungen. Diese Materialien (Thon, Torf, humöse Bestandtheile), die an und für sich schon porös sind, nehmen Wasser in sich auf, vergrössern hierdurch ihr Volumen und müssen demgemäss die zwischenliegenden Hohlräume verkleinern oder gar verschliessen. Dadurch wird ein zweifaches Hinderniss der Leitung nach abwärts gesetzt. Es wird Wasser in dem Material selbst zurückgehalten; es werden ferner die Hohlräume einen grösseren Widerstand bieten und eine grössere capillare Wirkung ausüben.

Viel deutlicher tritt wieder der Einfluss des physikalischen Charakters, des mechanischen Gefüges hervor. Derselbe war auch Gegenstand vielfacher experimenteller Untersuchung (LIEBENBERG, KLENZE, EDLER).

Nach EDLER's (l. c.) an diluvialen Lehm von wechselnder Korngrösse angestellten Versuchen lief der Vorgang des Eindringens des Wassers in den Boden folgendermaassen ab:

#### Diluvialer Lehm

Korngrösse (Durchm. in Mm.) 1—0,5 0,25—0,1 0,1—0,05 unter 0,02

Das Wasser sank bis zur Tiefe

von: in Stunden — Minuten

—	1	12,5 Cm.	5,5 Cm.	5,5 Cm.	0,5 Cm.
—	2	17 "	9,0 "	8 "	0,75 "
—	5	36 "	15,5 "	13 "	1,25 "
—	9	56 "	22,0 "	18,25 "	1,75 "
—	15		29,5 "	29 "	2,0 "
1	—		71 "	56 "	4 "

Die Abnahme der Leitung nach abwärts, entsprechend der Abnahme der Porengrösse, bezieht sich in diesem Falle in gleicher Weise auf die Schnelligkeit der Leitung, als auch auf die Menge des geleiteten Wassers. Es ist dies eine nothwendige Consequenz der physikalischen Eigenthümlichkeiten. Derselbe Factor, der die Capillarität und damit die absolute Wassercapacität erhöht, befördert auch die Reibung. Bei der Leitung nach oben führt dies zu entgegengesetzten Resultaten. Die durch die Enge der Poren erhöhte Capillarität compensirt viel länger die Schwerkraft, ist also für die Hebung des Wassers günstig. Behindernd für die Leitung des Wassers ist auch die in den Capillaren eingeschlossene Luft, da sie, besonders wenn sie zwischen zwei Wassersäulen eingesperrt ist, einen ausserordentlichen Widerstand für die Fortbewegung des Wassers abgibt. Es wird also der Abfluss nach der Tiefe um so langsamer erfolgen, je feinporiger der Boden, je feinkörniger das Material desselben ist.

Bei dem Umstand, dass vermöge der dem Boden eigenthümlichen Wassercapacität ein grosser Theil des Wassers auf seinem Wege nach abwärts zurückgehalten wird, ist es möglich, dass in einzelnen Fällen das Wasser gar nicht zum Abfluss, gar nicht bis zu jener undurchlässigen Schichte gelangt, auf der es zu einer horizontalen Ausbreitung desselben, zur Ansammlung von Grundwasser kommt. Es wird nämlich unter diesen Umständen nur so viel aus jeder Bodenschicht zum Abfluss in die Tiefe gelangen, als dies dem Ueberschusse über die absolute oder kleinste Wassercapacität repräsentirende Wassermenge entspricht.

Ist nun die Wassermenge eine relativ geringe, die Bodensäule jedoch eine hohe und von grösserer absoluter Wassercapacität, so kann der Fall eintreten, dass die gesammte hindurchsickernde Wassermenge gerade oder nicht einmal hinreicht, um die Capillarräume zu füllen und also kein Ueberschuss vorhanden ist, der noch zum Abflusse in die Tiefe kam.

Wir können daraus, um einen concreten Fall zu veranschaulichen, erfahren, in welchem quantitativen Verhältniss Regenhöhe und durchlässiger Boden zu einander stehen müssen, damit noch etwas Wasser direct durch den Boden dem Grundwasser zufliesse, einen vollständig ausgetrockneten Boden vorausgesetzt. Hofmann (S. 79—80) hat im Leipziger Boden den Wassergehalt per Quadratmeter Grundfläche festgestellt, und zwar repräsentirt dieser gefundene Wassergehalt so ziemlich die absolute Wassercapacität des Bodens, da er in Schichten bestimmt wurde, die sich in ziem-

licher, verticaler Entfernung vom Grundwasser, d. h. von einer von unten her durchfeuchtenden Wasserquelle befanden. Diese Bodenschichten enthielten folgende Wassermengen:

	Schichtentiefe Meter	enthalten pro Quadrat- meter Grundfläche
Ablagerungsplatz: Frankfurter Strasse . .	0—3,0	1122 Kgrm. Wasser
Ablagerungsplatz: Schleussiger Weg . .	0—2,5	797 " "
Erdboden des Brunnenschachtes . . .	0—9,45	1258 " "
Friedhofsboden: Diluviallehm . . . .	0—3,00	726 }
Friedhofsboden: Diluvialsand . . . .	3—12,5	1168 } 1894 Kgrm. Wasser

Die Quantität von 1 Kgrm. Wasser pro Quadratmeter Bodenfläche entspricht der Regenhöhe von 1 Mm. Würde der Leipziger Boden vollständig ausgetrocknet sein, so würde z. B. am Schleussiger Weg, in der Bodenschichte von 2,5 Meter Tiefe eine Regenmenge von 797 Mm. vollständig aufgenommen werden, im Friedhofsboden bis zu einer Tiefe von 12,5 Meter 1894 Mm. Regen, ohne dass etwas von demselben zum Abfluss käme. Bis zu der Tiefe von 1 Meter enthält der Boden pro Quadratmeter Fläche an den Ablagerungsstellen 410 resp. 139 Kgrm. Wasser, auf dem Friedhofsgebiet 259 Kgrm. Wasser. Es kann also das während eines ganzen Jahres niederfallende Meteorwasser, 580 Mm., nach Abzug der Verdunstung (die circa 50—54% beträgt) bereits von 1 Meter Boden festgehalten werden. Der stark wasserhaltende Boden der Frankfurter Strasse enthält in der oberen Schichte, bis 1,58 Meter, so viel Wasser, als die gesammten Niederschläge ausmachen, welche während eines Jahres unter Ausschluss jeder Verdunstung niederfallen<sup>1)</sup>.

Es werden diese Verhältnisse bei Berücksichtigung des Zusammenhanges zwischen Grundwasser, Bodenfeuchtigkeit und atmosphärische Niederschläge, Theil II, Cap. II, noch weitere Besprechung finden müssen.

### *Durchlässigkeit des Bodens für Wasser.*

Für die Bewegung des Wassers in jenen Fällen, wo die Wassercapazität des Bodens gesättigt ist und ein weiterer Ueberschuss von Wasser demselben zugesetzt wird, werden wir wohl den Ausdruck Durchlässigkeit des Bodens für Wasser acceptiren dürfen.

1) HOFMANN, Grundwasser und Bodenfeuchtigkeit. Archiv für Hygiene. I.

A. MAYER versteht hierunter die Filtrationsfähigkeit, namentlich der tieferen Bodenschichten, welche es verhindert, dass ein Boden sich über seine wasserhaltende Kraft, seine Wassercapacität hinaus mit Wasser sättigt.

Es wäre wichtig, jene Gesetze genau zu kennen, nach denen sich der Boden jenes Ueberschusses von Wasser, der ihm über seine capillare Sättigungscapacität hinaus zur Verfügung gestellt wird, entledigt, und wie also jene Wassermengen, die als Regen bei Ueberschwemmungen, Bewässerungen u. dergl. in den Boden dringen, dort weiter wandern und an tiefere Schichten oder an die Ansammlungen unterirdischen Wassers wieder abgegeben werden. Hier wird es sich vorerst darum handeln, ob wir es mit einem compacten, in grossen Lagern in Form von ausgebreiteten Felsen auftretenden Gesteine zu thun haben, welches für Wasser vollkommen undurchlässig ist, wie die Massengesteine, oder ob der Boden ein weniger fest verbundenes, verkettetes Conglomerat von Trümmern, Gesteinen, eine poröse Masse im Sinne der Bodenphysik darstellt.

Aber auch bei den compacten, den Massengesteinen finden sich Verhältnisse, unter denen eine Wasserführung stattfindet, wenn nämlich ein sonst wenig durchlassendes Gestein von zahlreichen verticalen Spalten oder Klüften oder auch von fortgesetzten Höhlungen so durchzogen ist, dass das Wasser in diesen Kanälen frei fortzufließen vermag. Das auffallendste Beispiel einer solchen zerklüfteten Gesteinsart ist der Kalkstein des österreichischen Karstgebirges, welcher nicht durch seine Masse selbst, sondern nur vermöge der Klüfte, von welchen er durchsetzt ist, zu einem wasserführenden Gestein wird (vgl. S. 25).

Im Allgemeinen ist in derartigen Spalten und Klüften die Circulation sogar eine viel ungehindertere als in den Hohlräumen der Gesteinstrümmer, in welchen letzteren sich das Wasser nicht etwa durch lange, zusammenhängende Kanäle fortbewegt, sondern sich durch ein unregelmässiges Netz von ebenso unregelmässigen, miteinander communicirenden Hohlräumen zwischen den einzelnen Trümmern oder Geröllen hindurchwinden, dabei einen langen Weg zurücklegen und eine viel grössere Reibung überwinden muss.

In der Durchlässigkeit der verschiedenen porösen Bodenarten für Wasser tritt uns aber eine, an den mineralogischen Charakter des Bodens sich knüpfende Eigenthümlichkeit entgegen, die ihre besondere Beachtung verdient und einen scheinbaren physikalischen Widerspruch enthält. Bodenarten nämlich, die an und für sich porös sind und auch im trockenen Zustande mitunter ein höchst bedeutendes,



capillares Wasserleitungsvermögen besitzen, entbehren der Fähigkeit, Wasser durch sich hindurchtreten zu lassen, auffallendes Wasser von ihrer unteren Fläche abzugeben, vollständig oder nahezu vollständig; sie werden, trotzdem sie im trockenen Zustande porös, oft sogar sehr porös sind, im nassen Zustande für Wasser vollständig undurchlässig.

Die vier Bodenarten, an denen SCHWARZ <sup>1)</sup> (S. 34) experimentirte, geben dieser Thatsache einen quantitativen Ausdruck. Es wurden bei denselben die Wassermengen bestimmt, die durch eine Bodenschicht von 10 Cm. Mächtigkeit, 10 □ Cm. Oberfläche bei gleich bleibendem Drucke innerhalb 24 Stunden hindurchflossen.

1	2	3	4	5
	Poren- volumen	Capillare Sätti- gungscapacität in Procent des Bodenvolums	Wasser- abgabe innerhalb 24 Stunden	Volumen von 100 Cbcm.. trockenem Boden nach der Imbibition
	%	%	Cbcm.	%
Moorboden (82,26 % org. Subst.)	84	82,8	1	251,2
Alluvialsand (Quarzsand) . . .	39,4	34,9	5760	100
Lehm (Lösslehm) . . . . .	45,1	43,2	1674	119,2
Thon (diluvial) . . . . .	52,7	51,5	0,7	142,4

Der Vergleich dieser vier Bodenarten ergibt das wichtige Resultat, dass gerade jene beiden Bodenarten, deren Porenvolumen sowohl, als auch deren Sättigungscapacität sehr gross sind (Moorboden und Thon), in der Durchlässigkeit für Wasser am ungünstigsten sich verhalten. Ja, wir werden den Thon wohl mit Recht schon zu den für Wasser undurchlässigen Materialien zählen dürfen, trotzdem seine Permeabilität für Luft (S. 44) keine unbedeutende ist, besonders wenn er sich in einem Zustande der Krümelbildung befindet. In den Versuchen SEELHEIM's <sup>2)</sup> liess unter gleichen Umständen Kreide 2mal, Sand aber 3070mal soviel Wasser hindurchtreten als Thon.

Die Ursachen für dieses so vollkommen verschiedene Verhalten dieser zwei Bodenarten (Moor und Lehm) kann nun weder in dem Porenvolumen, noch in der Capillarität gelegen sein. Beim Moorboden, einem vorzüglich aus organischen Stoffen bestehenden Boden, spielt wohl die Hygroscopicität des Materials eine Rolle (100 Grm. Moorboden entnehmen innerhalb 70 Tage einer mit Wasserdampf

1) R. v. SCHWARZ l. c.

2) SEELHEIM, Archives néerlandaises de sciences exactes et naturelles. Tome XIV. p. 393, Naturforscher 1880, und Zeitschr. f. analyt. Chemie. 1880.

gesättigten Atmosphäre 21,6 Grm. Wasser) und ganz besonders das Quellungsvermögen, indem durch die hierdurch bewirkte Volumszunahme der einzelnen Körner die Hohlräume zwischen denselben verengt und verschlossen werden können. Die Zahlen in Columnne 5 geben uns einen Maassstab zur Beurtheilung dieses Vorganges. Der Moorboden erlangt durch die Aufnahme von Wasser eine Volumsvermehrung um das  $2\frac{1}{2}$  fache und auch der Thon nimmt durch Imbibition um nahezu das  $1\frac{1}{2}$  fache an Volumen zu. Beim Thon ist es ferner die eigenthümliche Fähigkeit, unter Wasseraufnahme plastisch zu werden, eine Masse zu bilden, welche die eingeschlossenen Wassertheilchen mit solcher Energie festhält, dass es auch einem sehr bedeutenden hydrostatischen Drucke nicht gelingt, dieselben durch andere Wassertheilchen zu verdrängen. Welches die Ursachen sind, dass in diesem Falle die festgehaltenen Wassertheilchen nicht wie andere, capillar festgehaltene durch neue Wassertheilchen verdrängt werden können, die, wie man meinen sollte, ihre Stelle doch ebenso gut zu vertreten im Stande wären, ist unbekannt.

SEELHEIM (l. c.) macht die Durchlässigkeit des Thons von der mit ihm vermischten Wassermenge abhängig. Der Thon stellt nach ihm eine homogene, unfühlbar feine Substanz dar, welche aus einzelnen oder zu Gruppen vereinigten Moleculen besteht. In einer gleichmässigen Mischung von Thon und Wasser muss nun die Grösse der Thonmoleculen, sowie der mit Wasser gefüllten Zwischenräume überall als gleich angesehen werden. Die Grösse der capillaren Durchflussöffnungen muss nun der Menge des beigemischten Wassers, die Anzahl derselben der Menge des im Gemische enthaltenen Thones proportional sein und es nehmen bis zu einer gewissen Grenze die Quantitäten des durchfliessenden Wassers bei gleicher Thonmenge mit der im Thongemisch enthaltenen Wassermenge auch ab bis zu 0.

Es ist auf Grund dieses Verhaltens anzunehmen, dass, je reicher ein Boden an Thonsubstanzen ist, desto stärker diese den Durchgang des Wassers verhindernde Eigenschaft sich geltend machen wird (es sei hierbei auch auf die S. 44 erörterte Herabminderung der Permeabilität des Bodens für Luft durch beigemengte Thonsubstanzen aufmerksam gemacht). Die experimentellen Untersuchungen von KLENZE<sup>1)</sup> und E. WOLFF<sup>2)</sup> und FLÜGGE<sup>3)</sup> bestätigen diese Annahme. WOLFF fand bei sechs Bodenproben einen annähernden, umgekehrten Parallelismus zwischen Thongehalt und Durchlässigkeit für Wasser.

---

1) KLENZE, Untersuchung über die capillare Wasserleitung im Boden und die capillare Sättigungscapacität für Wasser. Landwirthschaftl. Jahrbücher. 1877.

2) E. WOLFF l. c.

3) FLÜGGE, Die Bedeutung von Trinkwasseruntersuchungen für die Hygiene. Zeitschr. f. Biologie. Bd. XIII. S. 465.

Die Durchlässigkeit wurde bestimmt, indem er eine Erdsäule von 16 Cm. Höhe in einen Zinkkasten von 16 Cm. Höhe mit trichterförmigem Ansatz einfüllte, dort mit Wasser gänzlich sättigte und sodann eine Wassermenge von 8 Cm. Höhe aufgoss, deren Durchsickern der Zeit nach er beobachtete.

Bodenart	Thongehalt des Bodens	Humus o/o	Zahl der Stunden, innerhalb deren der Durchtritt des Wassers erfolgte
1. Sehr feinkörniger, sandig-lehmiger Boden .	15,74 (100)	0,88	20,3 (100)
2. " " " " " "	15,96 (100)	1,40	25,8 (127)
3. Schwarzer, humöser, kalkiger Lehmsandboden	18,17 (115)	6,87	31,0 (152)
4. Sehr feinkörniger, sandig-lehmiger Boden .	25,93 (164)	0,92	75,8 (373)
5. Sehr thoniger Boden . . . . .	42,56 (270)	0,66	133,0 (655)
6. Boden mit ziemlich viel thoniger Substanz	29,76 (189)	2,19	188,0 (926)

(Die eingeklammerten Zahlen geben die relativen Werthe an.)

Die Zeit, die das Wasser zum Durchsickern braucht, nimmt nun in der That mit zunehmendem Gehalte an Thon (und auch an Humus) zu, und zwar in weit grösserem Maasse, als der directen Vermehrung des Thongehalts entspricht.

Die in den Bodenarten 5 und 6 auftretende Abweichung von dem Parallelismus rührt bei 6 von dem grossen Humusgehalt der Bodenproben, bei 5 von dem grossen Reichthum an kohlen-saurem Kalk (dem höchsten, 12,8 % gegen 2,28 % des Bodens 6) her, wodurch der Thon bereits einen mehr lössartigen Charakter erhält und demgemäss seine Plasticität eine geringere ist.

Dasselbe Verhalten geht aus den Zahlen FLÜGGE's hervor. Derselbe bestimmte wieder die Wassermenge, die innerhalb einer bestimmten Zeit durch seine Versuchsobjecte — Thonrohre von 1 Meter Länge und 160 bis 170 Cm. Querschnitt im Lichten, in welchen künstlich zusammengesetzte Bodenproben fest eingestampft waren —, unter einer constanten Wasserschicht von 1 Cm. Höhe hindurchgegangen waren.

Erdsorten	Filtratmenge pro Min. Cbem.
Reiner grober Kies . . . . .	∞
Feinkörniger Sand I . . . . .	103,0
II . . . . .	87,3
Feinster Sand . . . . .	25,7
3 Th. Sand I, 1 Th. Lehm . . . . .	15,5
1 Th. Kies, 2 Th. Sand I, 1 Th. Lehm .	7,4
1 Th. Sand I, 1 Th. Lehm . . . . .	2,1
Reiner Thon resp. Lehm . . . . .	0

Wir werden aus diesem Verhalten die Mächtigkeit des Vorkommens von Thon in den kleineren Schichtgesteinen würdigen lernen.

Dort, wo er in weniger reiner Form als horizontales oder geneigtes Lager erscheint, werden wir in ihm eine Schichte sehen, welche zwar im Stande ist, Wasser aufzunehmen und festzuhalten, welche aber nicht die Fähigkeit besitzt, Wasser durch sich hindurchtreten zu lassen, Wasser an die unterhalb gelegenen Schichten abzugeben. Wir haben dann im Thon (im Tegel, Flinz u. s. w. s. S. 14) eine undurchlässige Schichte, die gerade in unseren Gegenden eine grosse Rolle spielt, indem sich auf ihr die groben alluvialen und diluvialen, für Wasser höchst durchlässigen Gerölle aufthürmen, die das Wasser bis an diese Thon- oder Lehmschichte hindurchtreten lassen, auf welcher es sich naturgemäss auch sammeln muss. Nur dürfen wir nicht von dem falschen Standpunkte ausgehen, dass, weil diese Schichte im feuchten Zustande für Wasser undurchlässig wird, sie auch stets dem Wasser gegenüber isolirend wirken muss.

Es wurde schon bei der allgemeinen Charakterisirung der petrographischen Bodenelemente hervorgehoben, dass Thon über 70 % Wasser aufnehmen kann und dieses sehr fest an sich hält. Dieses Festhalten des Wassers hindert nun nicht, dass bei inniger Berührung durch capillare Leitung Wasser aus dem Thon resp. Lehm auf andere poröse Körper übergeht. Man hat darauf besonders beim Häuserbau zu achten. Wo Häuser direct ohne Isolirung auf eine Lehmschicht aufgebaut oder an eine Lehmwand angebaut sind, dort werden die Wände, die ja eine überaus mächtige capillare Leitung haben müssen, stets feucht bleiben.

Der Einfluss der physikalischen Beschaffenheit, der Structur des Bodens, der Grösse der den Boden constituirenden Materialien, der Dichte ihrer Anlagerung wird sich auch in diesem Falle wieder geltend machen. Je kleiner die einzelnen Bodenbestandtheile, je kleiner demzufolge die Poren, desto geringer wird die Durchlässigkeit für Wasser; desto längere Zeit wird verfliessen, bis eine gewisse Menge Wassers den Boden verlässt. Es sei an einem Beispiel das Gewicht dieses Factors veranschaulicht. Aus WELITSCHKOWSKY's<sup>1)</sup> Versuchen lässt sich folgende Tabelle zusammenstellen.

Bei einer Schichthöhe des Bodens von 50 Cm. und einer constant erhaltenen Höhe der Wasserschichte über dem Boden von 20 Cm. war die per 1 Minute geförderte Wassermenge

---

1) WELITSCHKOWSKY, Experimentelle Untersuchungen über die Permeabilität des Bodens für Wasser. Archiv f. Hygiene. II.



Bodenart	Korngrösse Durchmesser in Mm.	Poren- volumen	Wasser- capacität	Geförderte Wasser- menge
		o/o	o/o	Liter in 1 Minute
Feinsand . . . . .	$< \frac{1}{3}$	41,87	90,86	0,00014 (1)
Mittelsand . . . . .	$\frac{1}{3}-1$	40,64	71,46	0,123 (878)
Grobsand . . . . .	1—2	37,38	42,59	1,351 (9650)
Feinkies . . . . .	2—4	45,47	19,37	7,463 (53307)
Mittelkies . . . . .	4—7	35,93	13,44	12,872 (91943)

Die Schwankungen übertreffen in ihrer Amplitude noch die bei der Permeabilität des Bodens für Luft gefundenen.

Wenn wir die hier auseinandergesetzten Verhältnisse auf die Bodenbeschaffenheit im Allgemeinen übertragen, so erhalten wir nach PETERS<sup>1)</sup> folgendes Bild über die Durchlässigkeitsverhältnisse der Erdoberfläche:

„Bezüglich der Massen, die ausgebreitete Ablagerungen bilden und in ihren Beziehungen zum strömenden Regen in Betracht kommen, dürfen wir im Allgemeinen behaupten, dass alle jene, die Thon sind oder sich dem plastischen Thon in ihrem Gefüge nähern, das an sie herandringende Wasser nicht hindurchlassen, am allerwenigsten in der Richtung normal auf ihre schichtenartige Ausbreitung. Werden sie entlang derselben getroffen, so sind sie um so weniger undurchlässig, je mehr sie eine blättrige Structur angenommen haben, sich der Gesteinsart nähern, die man schlechthin Schieferthon nennt. Ferner gehören hierher, insofern sie höchstens 5—10 o/o Regen durchlassen, verschiedene Felsarten, wie Granit, harter Sandstein, harter Kalkstein, Dolomit. Im völligen Gegensatz zu jenen sind Ablagerungen im höchsten Grade durchlässig, die aus Schutt oder Sand bestehen. Besitzen sie ein Bindemittel, sind sie also Conglomerate oder Sandsteine, so mindert sich ihre Durchlässigkeit in dem Maasse, als dieses Bindemittel von mehr oder weniger thoniger Natur ist. Folgerichtig sind jene Schichten, die eine sandig-thonige Beschaffenheit haben, im entsprechenden Grade für Wasser durchgängig, also auch jene Ablagerungen, die feine Sandkörnchen, Weichthierschälchen, unterbrochene Hohlräume von Wurzelfasern u. dgl. enthalten, also namentlich jene, welche man in den österreichischen und deutschen Beckenländern als Löss bezeichnet.“

Auch diese Eigenthümlichkeit des Bodens kann aber mit der Zeit gewisse Veränderungen erleiden. Dieselben Bedingungen, die aus einem aporösen Boden einen porösen schaffen, dieselben können

1) PETERS, Die Methode der Geologie und deren Anwendung in der Praxis. Graz 1879.

einen undurchlässigen Boden in einen durchlässigen verwandeln. Es geschieht dies besonders durch Zertrümmerung, Ab- und Anschwemmung, besonders auch durch die Verwitterung (vergl. S. 17). Diese kann aber auch umgekehrt einen an und für sich durchlässigen Boden zu einem undurchlässigen gestalten. Ein Beispiel hierfür liefert die Umgebung von Wiener-Neustadt <sup>1)</sup>.

Im nordöstlichen Ende der Alpen (südwestlich von Wien) finden sich Gesteine der Sandsteinzone, die an und für sich nicht geradezu als wasserdicht anzusehen sind, indem sie stets in Bänke zertheilt sind und längs ihrer Schichtflächen da und dort nicht unbeträchtliche Mengen von Wasser aufnehmen. Sie besitzen jedoch eine Eigenthümlichkeit, die der Sandsteinzone fast den Charakter einer Gegend mit wasserdichtem Boden gibt und die darin besteht, dass diese Gesteine eine bald mehr bald minder beträchtliche Menge von Eisenoxydul enthalten (das auch die blaue Färbung der Gesteine hervorruft), welches sich an der Luft in Eisenoxyd verwandelt, wobei die blaue Färbung des Steins allmählich in eine mehr oder weniger rothe oder gelbe übergeht. Durch diesen Verwitterungsprocess zerfällt der scheinbar sehr feste Stein in eine schlammige, gelbliche Masse mit eingestreuten Sandkörnern und Plättchen von weissem Glimmer, welche Masse als wasserdicht anzusehen ist und der Bodenlage auch diesen Charakter verleiht.

Die grössere oder geringere Durchlässigkeit des Bodens hat vom hygienischen Gesichtspunkt aus nach zwei Richtungen hin Interesse. Einmal gibt sie uns einen Fingerzeig darüber, in welcher Weise die durch Niederschläge hervorgerufenen Schwankungen in der Feuchtigkeit, dem Wassergehalt der oberen Bodenschichten sich ändern, wieder ausgleichen, oder doch längere Zeit bestehen bleiben (vergl. Grundwasser), sodann aber erfahren wir hierdurch, ob die dem Boden zugeführten Verunreinigungen in tiefere Schichten resp. bis zum Grundwasser gelangen und in welcher Zeit diese Wanderung erfolgt. Es wäre deshalb wichtig, die Wasserdurchlässigkeit verschiedener Bodenarten in natürlichem Zustande zu bestimmen.

Aus Anlass der Prüfung eines Wasserversorgungsprojects wurde auf der bayerischen Hochebene südöstlich von München, in Gleisenthal <sup>2)</sup>, ein derartiger Versuch angestellt. Der durchlässige Boden besteht hier aus Gerölle, Kies, dem sog. Glacialschutt und aus diluvialer Nagelfluh. An einem Steinbruch, in welchem die Mächtigkeit der Schichten 9,5 Meter

1) Bericht der Wiener Wasserversorgungscommission.

2) IV. Bericht über die Verhandlungen und Arbeiten der vom Stadtmagistrat München niedergesetzten Commission für Wasserversorgung u. s. w. S. 76.

betrug und eine Unterhöhlung der tiefsten Lage geschaffen war, konnte der Vorgang des von oben niedergehenden Wassers auf das Genaueste beobachtet werden. Nachdem die oberste Lage der Pflanzenschicht abgehoben und nacktes Gestein aufgedeckt war, wurde in ein rings wasserdicht abgeschlossenes, unten offenes Bassin Wasser eingebracht, und nachdem die Schichten bis zur Unterhöhlung vom senkrecht niedersitzenden Wasser vollständig erfüllt waren, bei constant erhaltenem Wasserzufluss eine Lösung von gelbem Blutlaugensalz oben aufgegossen und das Erscheinen desselben in der Unterhöhlung genau bestimmt. Diese Reaction trat nach 3 Stunden 40 Minuten ein. Die Geschwindigkeit des vertical niedergehenden Wassers war mithin an dieser Stelle im Durchschnitt 23 Min. 9 Sec. für den Meter, wobei allerdings nicht berücksichtigt wurde, dass der Eintritt der Reaction vielleicht durch Diffusion beschleunigt werden könnte. Dabei muss bemerkt werden, dass die Rollstücke, die übereinander lagernden Bänke diluvialer Nagelfluh, nicht gleichmässig gebunden waren und dass festere und minder festere Geröllbänke miteinander wechselten, so dass der Niedergang des Wassers nicht als ein gleichmässiger angenommen werden kann.

An künstlichem Boden hat HOFMANN<sup>1)</sup> mittelst eines sehr instructiven Versuchs gezeigt, wie die löslichen Stoffe, die von oben her in den Boden gelangen, mit dem auffallenden Wasser sich weiter gegen die Tiefe hin verbreiten.

Er füllte zwei je 1 Meter hohe Röhren mit Sand, Rohr I mit solchem von 0,5—1,0 Mm. Korndurchmesser, Rohr II mit solchem von 0,3—0,5 Mm. Rohr I enthielt 601 Cbcm. freies Porenvolumen mit einer absoluten Wassercapacität von 182 Grm. Wasser, Rohr II 615 Cbcm. Porenvolumen mit 309 Grm. Capillarwasser.

Von einer Lösung, welche in 100 Cbcm. Flüssigkeit 1,008 Grm. Kochsalz enthielt, wurden 50 Cbcm. = 0,504 Grm. Kochsalz in langsamem Strahle auf jedes der beiden Bodenröhren aufgeträufelt, so dass sich die obere Fläche möglichst gleichmässig wie bei einem Regen benetzte.

Die folgenden Tage hindurch, nachdem das Kochsalz aufgegeben war, wurde dann stets in Fristen von je 24 Stunden die gleiche Menge destillirtes Wasser (50 Cbcm.) aufgegossen, die Abflussmenge täglich gewogen und die in ihr vorhandene Kochsalzmenge bestimmt.

Die Vorgänge entsprachen also den Verhältnissen, dass auf die reine, 1 Meter mächtige Bodenlage eine einmalige Verunreinigung kam und dann durch täglich gleich grosse Regenmengen in die Tiefe gespült wurde.

Es geht aus diesen Versuchen zuvörderst hervor, wie verschieden sich das Eindringen der Bodenverunreinigung in die Tiefe gestaltet, je nach der physikalischen resp. mechanischen Beschaffenheit derselben.

Die beiden Versuchsboden haben das gleiche Porenvolumen von 601 und 613 Cbcm. Volumen, dieselbe Schichtenhöhe; die in gleicher Menge und Concentration aufgebrachte Verunreinigung

1) HOFMANN, Eindringen von Verunreinigungen in Boden und Grundwasser. Archiv f. Hygiene. II.

Versuchstag	Aufgegossen	Aus Sand I abgeflossen			Aus Sand II abgeflossen		
		Flüssigkeit Grm.	100 Chem. Ausfluss Mgrm. ClNa =	Ausgespülte ClNa-Menge = Mgrm.	Flüssigkeit Grm.	100 Chem. Ausfluss Mgrm. ClNa =	Ausgespülte ClNa-Menge = Mgrm.
1	50 Cbcm. mit ClNa 0,504 Grm.	49,5	0	0	48,3	0	0
2	50 Cbcm. destillirtes Wasser	47,1	51	24	46,0	0	0
3	50 " " "	44,8	402	180	48,8	0	0
4	50 " " "	47,8	243	116	47,5	0	0
5	50 " " "	50,2	171	86	50,0	0	0
6	50 " " "	43,6	162	71	47,7	143	69
7	50 " " "	49,2	45	22	48,9	402	197
8	50 " " "	48,4	12	6	45,4	357	162
9	50 " " "	48,3	7	3	46,7	147	69
10	50 " " "	47,4	2	1	46,4	11	5
11	50 " " "	47,6	0	0	46,5	0	0
12	50 Cbcm. mit ClNa 0,504 Grm.	44,9	0	0	42,8	0	0
13	50 Cbcm. destillirtes Wasser	46,9	47	22	44,7	0	0
14	50 " " "	48,4	363	176	44,6	0	0
15	50 " " "	46,4	255	119	44,7	0	0
16	50 " " "	42,6	189	80	43,0	0	0
17	50 " " "	46,7	139	65	42,8	78	33
18	50 " " "	49,1	54	26	46,2	393	181
19	50 " " "	47,6	18	9	46,5	432	201
20	50 " " "	47,6	6	3	45,6	162	74
21	50 " " "	47,2	2	1	44,6	32	11
22	50 " " "	47,5	0	0	43,7	0	0

wird durch die gleichen Wassermengen in die Tiefe geführt, und trotzdem bestehen quantitativ und zeitlich die grössten Unterschiede, welche nur von der Art und der Weite der Bodenhohlräume bedingt sind.

Die Verunreinigung gelangt in dem grobporösen Boden schneller in die Tiefe, als im feinporösen, und dazu in einem verdünnteren Zustande, die Gesamtmenge der Stoffe des Kochsalzes vertheilt sich bei I auf 450 Cbcm. Flüssigkeit, bei II auf nur 250 Cbcm., die Boden- resp. Wasserverunreinigung erreicht also einen geringeren Grad, während im feinporösen an Capillaren reichen Boden die Beimengungen beim Transport durch das Wasser nur langsam, Schichte für Schichte tiefer gelangen, unter auffallend geringer Vermischung mit dem schon vorhandenen Bodenwasser, so dass in einer Bodensäule in senkrechter Richtung reine und verunreinigte Schichten mit einander abwechseln können. Aus den angeführten Versuchsergebnissen bestimmte HOFMANN den zeitlichen Vorgang des Eindringens von Stoffen in die tieferen Bodenschichten, wie das mit Hilfe der meteorischen Niederschläge erfolgt.



## IX. Boden und Wasserdampf.

Bei den Beziehungen zwischen Boden und Wasser sind noch jene Vorgänge zu berücksichtigen, bei denen das Wasser in gasförmigem Zustande auftritt. Wir werden zu diesem Behufe die Frage nach dem Wassergehalte der Bodenluft zu stellen haben, sodann nach dem Absorptions- und Condensationsvermögen des Bodens für Wasserdampf und endlich nach der Eigenschaft des Bodens, Wasser in gasförmigem Zustande an die Luft treten und verdunsten zu lassen.

### 1. Wassergehalt der Bodenluft.

Der Wassergehalt der Bodenluft<sup>1)</sup> wird sich darnach richten, ob die Bodencapillaren Wasser enthalten, ob ferner in den nicht capillaren Räumen Wasser an den Bodenfragmenten adhärirt. Ist dies der Fall, d. h. ist der Boden feucht, so ist a priori anzunehmen, dass die Bodenluft sich mit Feuchtigkeit sättigt. Die Wassermassen, die in Folge der Capillarität und Adhäsion dem Boden anhaften, werden eine stetige Verdunstung unterhalten, die bei der grossen Flächenausbreitung mächtig genug ist, um die vorhandene Bodenluft entsprechend ihrer jeweiligen Temperatur mit Wasserdampf zu sättigen. Es ist hierbei gar nicht nöthig, dass die Erfüllung der Capillaren mit Wasser eine derartige ist, dass der Grad der absoluten oder kleinsten Wassercapacität erreicht ist. Nach Versuchen von PFEIFFER<sup>2)</sup>, FODOR<sup>3)</sup> erwies sich die Bodenatmosphäre noch mit Feuchtigkeit übersättigt, selbst nachdem der Boden (trockener Gartenkies) zwei Wochen hindurch nicht befeuchtet und scheinbar völlig ausgetrocknet war.

Dieser scheinbare Widerspruch findet seine Erklärung, wenn man sich der Thatsache erinnert, dass das im Boden capillar aufgestiegene Wasser die Tendenz besitzt, immer höher anzusteigen, wie dies aus den Versuchen LIEBENBERG's (S. 96) hervorgeht, wenn nur Differenzen in dem Feuchtigkeitsgehalt der Bodenschichten vorhanden sind, die zu Ungunsten der oberen Bodenschichten ausschlagen. Es wird also die Luft nicht blos dort, wo sie unmittelbar mit dem in die Tiefe versunkenen Wasser (Grundwasser) in Berührung steht, Gelegenheit zur Wasseraufnahme haben, sondern überall, wohin die

1) Vgl. FLECK, Jahresberichte der chem. Centralstelle für öffentl. Gesundheitspflege in Dresden. II. III. IV. V.

2) PFEIFFER, Zeitschrift für Biologie. IX.

3) FODOR, Experimentelle Untersuchungen über Boden und Bodengase. Deutsche Vierteljahrschrift für öffentl. Gesundheitspflege. VII.

capillare Leitung des Wassers führt, welche beständige Wanderung des Wassers nach oben noch begünstigt wird durch die von der Oberfläche her stattfindende Verdunstung.

Anders gestalten sich natürlich die Verhältnisse, wenn eine vollständige Austrocknung des Bodens stattfindet. Diese ist jedoch nur möglich, wenn weder in der Tiefe des Bodens sich Wasseransammlungen finden, noch auch die atmosphärische Luft Wasserdampf in erheblicher Menge enthält.

Mit diesem grossen Gehalt der Bodenluft an Wasserdampf steht auch eine Erklärung der Thaubildung im Zusammenhange. Die dem Boden entströmende Luft muss, wenn sie an Körper gelangt, die in Folge nächtlicher Ausstrahlung eine niedrigere Temperatur haben, ihren Wasserdampf in Form von Thau niederschlagen. Dass ein solches Aufsteigen der feuchten Bodenluft und eine Condensation des Wasserdampfes, nach MOSER auch in den obersten Bodenschichten selbst, erfolgt, ist durch Versuche von CHRISTONI<sup>1)</sup> wahrscheinlich gemacht, bei denen an der unteren Fläche von horizontal und frei aufgestellten Platten sich die grösste Wasseransammlung findet. Man hat vielleicht Grund hier an gewisse epidemiologische Thatsachen zu denken, bei denen gerade der Nachtluft eine grosse Rolle zugewiesen wird. Jedenfalls ist es möglich, dass Pilze, die in den untersten Luftschichten suspendirt sind, mit den Thautropfen an festen Körpern niedergeschlagen und so vielleicht weiter verbreitet werden.

## 2. Absorption und Condensation von Wasserdampf im Boden.

BABO<sup>2)</sup> hat durch Versuche nachgewiesen, dass der bei 35 bis 40° C. ausgetrocknete Boden in der Stärke seiner den Wasserdampf der Luft an sich ziehenden Kraft sich verhalte wie concentrirte Schwefelsäure, Chlorcalcium (freilich hat sich in jüngster Zeit gezeigt, dass die wasserentziehende Kraft des Chlorcalcium doch weit geringer ist, als die der Schwefelsäure). Der vollkommen ausgetrocknete Boden wird also einer auch nicht völlig mit Wasserdampf gesättigten Luft unter Temperaturerhöhung Wasser entziehen bis zur Herstellung eines gewissen Gleichgewichtszustandes. Auch diese Funktion des Bodens ist wieder von seinen physikalisch-mechanischen und mineralogischen Eigenthümlichkeiten abhängig.

SCHÜBLER fand bei seinen Versuchen bei einer Temperatur von 12—15° folgende Reihenfolge:

1) Naturforscher. 1881. S. 425.

2) Journal für praktische Chemie. 1872. S. 237.

Erdarten	1000 Grm. Erde, auf eine Fläche von 50 □'' verbreitet, ab- sorbiren in 24 St.	Erdarten	1000 Grm. Erde, auf eine Fläche von 50 □'' verbreitet, ab- sorbiren in 24 St.
Quarzsand . . . .	0 Grm.	Feine Kalkerde . .	35 Grm.
Gypserde . . . .	1 "	Kleiartiger Thon .	41 "
Kalksand . . . .	3 "	Grauer reiner Thon	49 "
Ackererde . . . .	23 "	Gartenerde . . . .	52 "
Lettenartiger Thon	28 "	Feine Bittererde .	82 "
Schieferiger Mergel	33 "	Humus . . . . .	120 "
Lehmartiger Thon .	35 "		

Die bei wechselnden Temperaturen und möglichst gleichem Korn angestellten Versuche AMMON's<sup>1)</sup> geben eine Reihenfolge, von Quarz, dem niedrigsten Absorptionsvermögen beginnend, zum Kalk, Kaolin, Humus und Eisenoxydhydrat, und sind auch in Uebereinstimmung mit den Versuchen von KNOP, die das geringe Condensationsvermögen einer sandhaltigen Ackererde, das grosse eines humösen Bodens, wie der russischen Schwarzerde ersichtlich machen.

Das grosse Absorptionsvermögen des Humus der Ackererde lässt erkennen, dass die organischen Substanzen von grösserem Einflusse sind, was bei der Hygroskopicität derselben auch selbstverständlich ist.

Wieder ist in erster Linie die Grösse der Hohlräume, der Grad der Porosität von Einfluss. Je kleiner das Korn und je feiner vertheilt die Masse, demzufolge auch je kleiner die Hohlräume, desto grösser die Gesamtoberfläche des Kornes (S. 76) und damit die Absorption des Wasserdampfs. Die Versuche, die auf diesen Punkt gerichtet waren, von DAVY, KNOP, BABO, SCHÜBLER, v. AMMON und Anderen, leiden nur an dem Uebelstande, dass nicht reines Wassergas, sondern mit Wassergas gesättigte Luft zur Anwendung kam und so gleichzeitig Absorption von Sauerstoff und Stickstoff eintreten konnte. Doch ergaben sich beim Vergleiche grosse Differenzen. In den Versuchen von AMMON beträgt die Absorption des Bodens, dessen Korndurchmesser unter 0,2 Mm. beträgt, mehr als das 9fache derjenigen Menge, die bei einem Korndurchmesser von 1,80—2,50 absorbirt wird. Da sich ferner das Absorptionsvermögen des Bodens für Gase nach den für die Absorption der Gase im Allgemeinen giltigen physikalischen Gesetzen richten muss, so wird die Menge des absorbirten Wasserdampfes innerhalb bestimmter Grenzen mit der Temperatur abnehmen müssen.

1) G. AMMON, Untersuchungen über das Condensationsvermögen der Bodenconstituenten für Gase. Dasselbst auch die Literatur: Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. II.

Die Folgen dieser Erscheinungen werden sich darin äussern, dass ein Boden in unserer Gegend wohl nie vollständig austrocknen kann, so lange es entweder die Wasseransammlungen in der Tiefe sind, die hier mitwirken, indem sie die Luft mit Feuchtigkeit beladen resp. sättigen und so zur Absorption des Wasserdampfes von Seite der oberflächlichen Bodenschichten beitragen, oder die atmosphärische Luft, die ihre Feuchtigkeit dem Boden abgibt. Freilich muss auch der umgekehrte Fall eintreten können, dass nämlich ein Boden, der eine gewisse Wassermenge in sich absorbirt enthält, dieses wieder abgibt, sei es in Folge von Temperaturerhöhung (die grössten Wassermengen werden bei einer Temperatur von  $0-10^{\circ}$  C. absorbirt) oder in Folge grösserer Trockenheit der Luft. Es existiren keine Untersuchungen darüber, wie sich die Absorption und Abgabe von Wasserdampf bei verschiedenen Graden der Sättigung der Luft mit Wasserdampf, also bei verschiedener relativer Feuchtigkeit verhalten wird und ob hierfür jene Gesetze massgebend sind, die für die organischen und hygroskopischen Stoffkörper gefunden wurden. Bei diesen hängt die Dicke der Wasserschicht, die an einer Fläche sich ansetzt, ab von der zur Verdunstung einwirkenden Verdampfungskraft, d. i. dem Ueberschuss des Druckes der von der Temperatur bestimmten Sättigung über den vorhandenen Dampfdruck der Luft, welcher entgegen der Adhäsion die oberflächlichen Wassertheilchen mit einer von der Dicke dieser Schichte abhängigen Stärke zurückhält. (MOUSSON.)

Zu beachten ist bei diesen Vorgängen, dass mit einer derartigen Wasseraufnahme auch stets eine gewisse Volumenvermehrung einhergeht, wodurch sich auch Verschiebungen, Bewegungen der Gesteine und Gesteinstrümmer, wenn auch nur minimaler Grösse ergeben, die aber doch zur Lockerung, Abbröckelung und analogen Erscheinungen führen können. Ausserdem muss aber in einem derartigen Prozesse der Wasseraufnahme und -Abgabe eine Quelle steter Bewegung der Luft im Boden liegen. Indem die Bodenluft durch den Boden Wasserdampf verliert oder aufnimmt, ändert sich ihr specifisches Gewicht, ihre Spannung gegenüber der Luft anderer Schichten. Ebenso muss aber auch die durch die Wasserabsorption hervorgerufene Temperatursteigerung und umgekehrt eine Aenderung in dem Gleichgewichte der Luftschichten im Boden eintreten machen.

Im Allgemeinen werden diese Vorgänge in unseren Gegenden jedoch von keiner grossen Bedeutung sein, hauptsächlich deshalb, weil unsere Böden stets theils von unten her, theils in Folge der Niederschläge von oben her eine solche Menge von Feuchtigkeit



zugeführt erhalten, dass sich stets eine gewisse hygroskopische Sättigung des Bodens einstellen wird, besonders in etwas tieferen Schichten. Keineswegs wird es sich hierbei um eine nennenswerthe Absorption des Wasserdampfes aus der atmosphärischen Luft handeln.

Verschieden von diesen Erscheinungen der Absorption, oder, wie dieser Vorgang auch genannt wird, der Condensation von Wasserdampf ist jene Erscheinung, bei der die in den Boden eintretende, mit Wasserdampf erfüllte Luft in Folge von Temperaturdifferenzen an den kühleren Boden ihr Wasser abgibt, niederschlägt, condensirt, also eine Condensation im eigentlichen Sinne des Wortes.

Dieser Vorgang ist nur möglich, wenn wirklich im Boden eine niedrigere Temperatur herrscht, als sie die atmosphärische Luft besitzt, wenn ferner Luft in bedeutenderem Maasse in den Boden gelangt, wenn schliesslich diese Luft einen relativ hohen Feuchtigkeitsgehalt besitzt.

Wir werden auf diesen Gegenstand bei Besprechung der Bodentemperaturen Theil I, Cap. IV, sowie bei der Entstehung der Quellen und des Grundwassers (Theil II, Cap. II) zurückkommen müssen <sup>1)</sup>.

### 3. Verdunstung aus dem Boden.

Der Boden als hygroskopischer und wasserleitender Körper gibt aber auch Wasser an seine Umgebung, speciell an die atmosphärische Luft ab. Haben wir einen Boden, der derart benetzt ist, dass das der jeweiligen Bodentemperatur und dem jeweiligen Feuchtigkeitsgrade der Luft entsprechende Absorptionsvermögen des Bodens übersättigt ist, so wird er an die ihn umgebende Luft Wasser abgeben. Es erfolgt Verdunstung. Diese Verdunstung wird am mächtigsten

1) Folgende kleine Tabelle, ein Auszug einer grösseren von mir berechneten Zusammenstellung (СОУКА, Untersuchungen zur Canalisation. München 1885. S. 95 u. 96), gibt einen Maassstab für die durch Aufnahme von Wasserdampf bedingten Aenderungen des specifischen Gewichtes der Luft:

Temperatur	Gewicht eines Cubikmeters Luft in Kilogramm			Specifisches Gewicht		
	trocken	mit 50% relativer Feuchtig- keit	mit Wasser- dampf gesättigt	der trockenen Luft	der Luft von 50 % relativer Feuchtig- keit	der mit Wasser- dampf ge- sättigten Luft
— 10° C.	1,3421	1,3416	1,3409	1,0380	1,0371	1,0369
± 0	1,2932	1,2917	1,2902	1,0000	0,9988	0,9977
+ 10	1,2472	1,2446	1,2419	0,9646	0,9625	0,9603
+ 20	1,2046	1,1998	1,1946	0,9317	0,9278	0,9239
+ 30	1,1648	1,1561	1,1470	0,9009	0,8940	0,8866

sein an der Oberfläche, da hier eine grosse Luftmasse mit dem Boden in Berührung steht, die viel Wasserdampf in sich aufzunehmen vermag und die bei der ununterbrochenen Luftbewegung im Freien sich fortwährend erneuert. Indem aber die oberflächlichsten Bodenschichten austrocknen, wird das Gleichgewicht in der Bodenluft gestört, denn mit der Verminderung des Wassergehalts ändert sich das spezifische Gewicht der Luft, es vergrössert sich in etwas, wenn auch nur sehr gering. Es werden in Folge dessen Luftströmungen und Diffusionsvorgänge eintreten, die die mit Wasser gesättigte Bodenluft wieder bis in die oberflächlichsten Schichten hinaufführen. Ausserdem aber ändert sich durch die Austrocknung der obersten Bodenschichten der Gehalt an capillar festgehaltenem Wasser, so dass wieder ein capillares Nachsteigen des Wassers aus dem Boden erfolgt.

Folgende Factoren, die ihren Einfluss auf die Menge des verdunstenden Wassers und die Schnelligkeit, mit der der Vorgang sich vollzieht, geltend machen, verdienen grössere Berücksichtigung: 1. der Wassergehalt des Bodens, 2. die Höhe der Bodenschicht, 3. die Bodenzusammensetzung, 4. die Structur des Bodens, 5. die Oberflächenbeschaffenheit und Bodenbedeckung <sup>1)</sup>).

Dass die Verhältnisse der Atmosphäre mit Rücksicht auf Temperatur, Feuchtigkeitsgehalt, Luftbewegung u. s. w. gleichfalls eine wesentliche Rolle spielen, braucht nicht besonders hervorgehoben zu werden. Sie können hier, wo es sich nur um die in den Bodenconstituenten gelegenen Bedingungen handelt, keine Berücksichtigung finden; sie finden jedoch in dem zweiten Theile, bei Besprechung der Grundwasserschwankungen, ihre Würdigung.

1. Manche Erscheinungen bei der Verdunstung des Bodens werden erst verständlich, wenn wir den jeweilig vorhandenen Wassergehalt des Bodens in Berücksichtigung ziehen. Der Boden verdunstet, die Menge des verdunstenden Wassers auf die Oberfläche bezogen, um so grössere Mengen, je mehr Wasser er enthält, und um so geringere Mengen je trockener er ist, je mehr er sich jenem Zustande nähert, in welchem er selbst Wasser absorhirt, so dass schliesslich Bodenproben von sehr verschiedenem Wassergehalt in der gleichen Zeit ihr Wasser verlieren. Dieser Einfluss des Wassergehalts geht sogar so weit, dass er die durch die anderweitigen Factoren bedingten Unterschiede verschwinden macht. Im gesättigten, nassen

---

1) Vgl. C. ESER, Untersuchungen über den Einfluss der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens auf dessen Verdunstungsvermögen. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. VII. Diese Abhandlung enthält auch die einschlägige Literatur.

Zustände (Grundwasser) verdunsten die Boden von verschiedener physikalischer oder mineralogischer Beschaffenheit beinahe gleiche Wassermengen. Es verschwinden dann also die Unterschiede, die in der Capillarität, in der Gesamtoberfläche der Bodenpartikel gelegen sind. Es hängt diese Eigenthümlichkeit mit der capillaren Leitungsfähigkeit des Bodens zusammen. Wohl ist durch LIEBENBERG (S. 96) nachgewiesen worden, dass in einem Boden, in welchem Wasser capillar von unten aufgestiegen war, auch nach Hinwegnahme dieser unteren Wasserschichten ein weiteres capillares Aufsteigen des Wassers erfolgt, andererseits aber zeigten SCHUHMACHER<sup>1)</sup> und ESER<sup>2)</sup>, dass, wenn auf eine, capillar gehobenes Wasser enthaltende Bodenschicht eine zweite, trockene aufgelagert wird, nur dann eine capillare Wasserbewegung in diese hinein eintritt, wenn die feuchte Erde eine grössere Menge Wassers enthält, nach ESER mehr als die Hälfte derjenigen Menge, die der Sättigungscapacität entspricht.

Je geringer der Wassergehalt eines Bodens ist, desto mehr wird dann das capillare Aufsteigen des Wassers, das zum Ersatz des verdunstenden Wassers dient, erschwert; die oberflächlichste Schicht des Bodens trocknet endlich vollständig aus, und die eigentliche Verdunstungsschicht sinkt in das Innere des Bodens zurück, der directe Einfluss der meteorologischen Elemente auf die Verdunstung wird beseitigt und die Wasserabgabe kann nunmehr nur durch Austritt von Wasserdampf aus dem Bodeninnern erfolgen.

2. Aus demselben Grunde muss die Verdunstung des Wassers aus dem Boden in dem Maasse abnehmen, als die Verdunstungsschicht in Folge von Austrocknung oder Auflagerung tiefer in den Boden herabsinkt, für die Wasseröconomie des Bodens ist dies von grosser Bedeutung; in trockenen Zeitperioden kann dadurch eine vollständige oder auch eine bedeutendere Austrocknung tieferer Bodenschichten hintangehalten werden; und so erklärt sich auch die Thatsache, dass selbst nach grosser Dürre in manchen Gegenden schon in relativ geringer Tiefe wieder capillar gebundenes Wasser zu Tage tritt.

Haben wir es mit einem Boden zu thun, der nicht blos feucht ist, sondern auch in seinen untersten Schichten eine grosse Wasseransammlung (Grundwasser) führt, so ist, bei gleichem capillaren Leistungsvermögen, die Verdunstung um so geringer, je höher die Bodenschichten, d. h. der Abstand zwischen dem Niveau des stehen-

1) SCHUHMACHER, Physik des Bodens. Berlin 1864.

2) ESER l. c.

den Bodenwassers (Grundwassers) und dem des Bodens ist, wobei die Unterschiede um so grösser sein werden, je geringer das capillare Leitungsvermögen des Bodens ist, und um so geringer, je grösser dasselbe ist. Es findet dies seine natürliche Erklärung darin, dass bei einem schwachen capillaren Leitungsvermögen die oberen Schichten der höheren Bodensäulen sehr wasserarm sein werden und dadurch also bereits eine grosse Einbusse in ihrem Verdunstungsvermögen erleiden; dass ausserdem das Wasser nur sehr langsam zum Ersatz und zur weiteren Verdunstung nachrückt.

3. Die Differenzen in der Verdunstungsgrösse der verschiedenen Bodenarten machen sich nach dem Vorausgeschickten nur dann geltend, wenn der Boden nicht vollständig mit Wasser erfüllt ist, also nur feucht ist. Aus den Versuchen ESER's liess sich folgende Reihenfolge feststellen (die Versuche beziehen sich auf einen Boden, dessen kleinste Wassercapazität gesättigt ist, und als Vergleichsobject wurde die innerhalb einer bestimmten Zeit von einer bestimmten Bodenoberfläche verdunstende Wassermenge gewählt): Am grössten war die Verdunstung bei Torf, dann folgte Erde (humöser Kalksand), sodann Lehm, Kalksand und Quarzsand. (MASURE<sup>1)</sup> fand folgende absteigende Reihenfolge: Thon, Dünger, Kalk, Gartenerde, Sand.) Beachtenswerth ist die Thatsache, dass die Verdunstungsgrösse um so grösser ist, je grösser der Gehalt des Bodens an organischen Substanzen ist. Auf S. 80 ist betont worden, dass der an organischen Substanzen reiche Boden auch wieder ein grosses Wasserfassungsvermögen besitzt. Es sind also in diesem Boden gerade jene Bedingungen, die zu grösseren Schwankungen im Wassergehalt führen, im reichsten Maasse vorhanden; wenn diese Schwankungen in hygienischer resp. epidemiologischer Beziehung ihre grosse Bedeutung haben, so wird auf diese Weise der hygienische Einfluss der Bodenverunreinigung etwas aufgeklärt. (Torf verdunstete unter denselben Verhältnissen um 58 % mehr als Quarzsand.)

4. Die physikalische Structur des Bodens macht sich in ihrem Einflusse schon dadurch geltend, dass von ihr die Grösse der verdunstenden Oberfläche abhängig ist (vgl. S. 76); je grösser diese, um so ergiebiger die Wasserabgabe an die Atmosphäre, dass ferner das capillare Wasserleitungsvermögen des Bodens mit ihr verbunden ist; deshalb nimmt mit der Feinheit der Bodenpartikelchen im Allgemeinen die Verdunstung zu.

---

1) MASURE, Annales agronomiques. VIII. 1882.



ESER's Versuche mit Quarzsand von verschiedenem Korn ergaben folgende Werthe:

Verdunstungsmengen pro 1000 □ Cm. Oberfläche in Grammen  
innerhalb 12 Tagen.

Nummer . . .	I.	II.	III.	IV.
Korngrösse in Mm.	0,0—0,071	0,071—0,114	0,174—0,171	0,171—0,25
Verdunstungsmenge	3428	3588	3339	3249

Nummer . . .	V.	VI.	VII.	VIII.
Korngrösse in Mm.	0,25—0,5	0,5—1,0	1,0—20,0	Gemisch
Verdunstungsmenge	2865	2551	1259	2219

Das Maximum der Verdunstung tritt in diesen, wie in den Versuchen JOHNSON's<sup>1)</sup>, bei einer bestimmten Korngrösse ein, und nimmt von da an nach beiden Seiten hin ab. Nicht das feinste Korn I zeigte die grösste Verdunstungsmenge, sondern das zweitfeinste. Dass die mit der Abnahme der Korngrösse einhergehende Steigerung der Verdunstung nur bis zu einer gewissen Grenze anhält, wird wohl mit der Capillarität des Bodens im Zusammenhange stehen; auch dort (S. 97) haben wir beobachtet, dass die Schnelligkeit und Grösse der capillaren Wasserleitung nur bis zu einer gewissen Grenze mit der Feinheit des Korns zunimmt.

5. Sehr wesentlich kann der Einfluss der Bedeckung des Bodens werden. Im Allgemeinen vermindert eine Bedeckung des Bodens mit irgend einem (leblosen) Material die Verdunstung (NESSLER, EBERMAYER), da dadurch die verdunstende Oberfläche verkleinert, die directe Einwirkung der äusseren Verdunstungsfactoren vermindert wird. Diese verdunstungshemmende Wirkung des deckenden Materials äussert sich verschieden, weniger nach der chemischen Beschaffenheit des deckenden Materials, als nach der Höhe der Deckschicht und nach der physikalischen Structur. Beide Vorgänge stehen übrigens in einer gewissen Wechselbeziehung. Die Versuche WOLLNY's<sup>2)</sup> ergeben, dass durch Auflagerung einer lockeren Bodendecke die gesammte Wasserverdunstung aus dem Boden stärker herabgesetzt wird. Die ausgetrocknete Bodenschicht wirkt in diesem Falle als Decke, welche den directen Einfluss der Insolation und Luftströmung auf die Verdunstung beschränkt. Es kommt hier wieder die Capillaritätswirkung in Betracht; die Herabminderung der Verdunstung erfolgt hier

1) S. W. JOHNSON, Studies on the Relations of Soils to Water. Annual Report of the Connecticut agricultural Experiment Station for 1877. New-Haven (nach ESER).

2) Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. Bd. III.

deshalb in grösserem Maasse, weil die capillare Wasserleitung aus einem dichteren Boden in einen lockeren eine sehr verminderte ist. Ist dagegen die dichte Schicht die oberhalb gelagerte, so ist die Beeinträchtigung der Verdunstung eine geringere. Eine Combination zweier Bodenarten von verschiedener dichter Lagerung ergibt demnach je nach der relativen Lagerung der beiden Bodenschichten verschiedene Resultate. Analog wird das Verhalten sein, wenn zwei mineralogisch verschiedene Bodenarten übereinander gelagert sind, die ein verschiedenes, capillares Leitungsvermögen für Wasser besitzen. So wird der aufliegende Lehm dem feuchten Sande leicht Wasser entziehen und die Verdunstung weniger behindern, während im umgekehrten Falle das Aufsteigen des Wassers im Sande, der dem Lehm aufgelagert ist, und demnach auch die Verdunstung eine weit beschränktere ist.

Ganz anders verhält sich jedoch der mit einer Vegetationsdecke versehene Boden. Der mit lebenden Pflanzen bestandene Boden verdunstet weit grössere Wassermengen als der unbedeckte und dem entsprechend auch viel mehr als der mit leblosem Material bedeckte. (Es liegen hierüber zahlreiche im Interesse der Landwirthschaft angestellte Untersuchungen von WILHELM, BREITENLOHNER, SCHUHMACHER, A. VOGEL, WOLLNY und ESER vor.)

Nach A. VOGEL war die Verdunstung von 1 □' Boden innerhalb 108 Vegetationstagen je nach der Vegetationsdecke folgende:

	Thonboden	Kalkboden
Unbesäet . . . . .	7044 Grm.	7561 Grm.
Verschiedenartig besäet	17828—21692 Grm.	19299—22919 Grm.

ESER's vergleichende Versuche liefern noch bedeutendere Differenzen.

Verdunstungsmengen pro 1000 □ Cm. in Grammen innerhalb 31 Tagen:

Die Decke bestand aus	Lebenden Pflanzen	Fichtennadeln	Kiefernadeln	Buchenlaub
Höhe der Decke . .	—	5 Cm.	5 Cm.	5 Cm.
	13902	621	878	630

Die Decke bestand aus	Steinen	Stroh	Stroh	Stroh	Unbedeckt
Höhe der Decke . .	1 Cm.	5 Cm.	2 1/2 Cm.	1/2 Cm.	—
	1862	571	1040	2392	5739

Der unbedeckte Boden steht in seiner Verdunstungsfähigkeit in der Mitte zwischen dem bedeckten und dem mit Vegetation versehenen Boden. Dass die Vegetation nicht bloß nicht als schützende Decke fungirt, sondern umgekehrt den Verdunstungsvorgang be-

schleunigt und steigert, ist in der Lebensthätigkeit der Pflanzen begründet. Die Pflanzen geben in ihren oberirdischen Organen reichlich Wasser an die Luft ab, das sie mit ihren Wurzeln dem Boden entziehen. Hierzu kommt noch, dass die den Boden bedeckenden Pflanzen in der Summe ihrer einzelnen Bestandtheile eine weit grössere Oberfläche repräsentiren als der Boden selbst, der sich unter ihnen befindet.

Diese austrocknende Wirkung, die die Pflanzen auf den Boden ausüben, beschränkt sich nicht blos auf die eben nur als Decke des Bodens fungirenden Gewächse, sondern auch auf andere sich hoch über den Boden erhebende Pflanzen. Vom Boden, in welchem die Pflanzen wurzeln, geht ein ununterbrochener Wasserstrom nach der Peripherie, um hier allmählich in Dampfform an die Luft abgegeben zu werden.

Es sind besonders gewisse Pflanzen, die dieses Vermögen, dem Boden Wasser zu entziehen, in bedeutend hohem Grade besitzen, so die Sonnenblume (*Helianthus annuus*), der Indianerreis (*Zizania aquatica*), der Calmus (*Calamus acori*) und besonders der Blaugummibaum (*Eucalyptus globulus*) <sup>1)</sup>.

Von den Anpflanzungen des letzteren hat man besonders zur Assanirung des Malariabodens ausgedehnten Gebrauch gemacht, zum Theil mit günstigem Erfolge, wie in Italien, zum Theil aber auch ohne Erfolg, wie in Indien. Die tre fontane benannte Gegend in der römischen Campagna, die man durch ausgedehnte Eucalyptusanpflanzungen assanirt zu haben glaubte, wurde dennoch 1882 Sitz einer heftigen Malariaepidemie <sup>2)</sup>. Auch in Australien (Sidney) wurde beobachtet, dass die Malaria in einzelnen Eucalyptuswäldern häufig vorkam. (LIVERSIDGE.)

Die Folgen der Verdunstung vom Boden aus haben grosse Wichtigkeit durch die Veränderungen, die in vielen Bodenzuständen dadurch auftreten. Vor Allem wird der Boden in Folge der Verdunstung permeabler, indem eine Reihe früher mit Flüssigkeit gefüllter Hohlräume nun für Luft zugänglich wird. Der Luftaustausch zwischen Boden und Oberfläche kann in Folge dessen ein viel energischerer sein als früher und erstreckt sich auf Bodenschichten, die früher vollständig abgeschlossen waren. Sodann aber kann durch die erfolgte Austrocknung, je nach der Beschaffenheit des Bodens und der in ihm wohnenden Flüssigkeiten, in den ausgetrockneten Schichten eine leichtere Ablösung von Staubtheilchen innerhalb des Bodens erfolgen, die sich der Bodenluft mittheilen und bei etwas

1) HAMM, Der Fieberheil- oder Blaugummibaum. Wien 1871.

2) TOMMASI CRUDELI, Études sur l'assainissement de la Campagne romaine. Archives italiennes de biologie. III.

stärkeren Luftströmen von diesen mitgenommen und an die Oberfläche geführt werden. Hier kommt dann jedenfalls die Beschaffenheit des Bodens, die Fähigkeit, Staub zu bilden, in Betracht (S. 19). Wir werden ferner sehen, dass gewisse chemische Vorgänge und, was noch wichtiger, die Lebensprocesse gewisser niederer Organismen mit durch diese Austrocknungsvorgänge beeinflusst werden können. Endlich ist auch der durch die aufsteigenden Capillarströme ermöglichte Transport von gelösten und suspendirten Beimengungen in Betracht zu ziehen. Die transportirende Flüssigkeit verdunstet an der Oberfläche, aber die mit ihr nach oben geschafften gelösten oder geformten Bestandtheile müssen an der Oberfläche oder in den oberen Bodenschichten verbleiben.

Schliesslich hat aber die Austrocknung des Bodens noch einen Effect, der im Stande ist, die Communication zwischen Bodenluft und Oberfläche zu vermitteln. Die Austrocknung des Bodens hat nämlich in einem Boden mit festerem Gefüge (nicht in einem lockeren, gekrümelten Boden) zumeist eine Volumverminderung zur Folge, die naturgemäss zu Unterbrechungen der Continuität, zur Bildung von Rissen und Spalten führen muss. Es sind ziemlich grosse Schwankungen, innerhalb welcher die Volumveränderungen stattfinden; in Procenten des ursprünglichen Volums der feuchten und festgelagerten Erde ausgedrückt, zwischen 0 und 30 %, und üben die quellungsfähigen Substanzen, vor Allem der Humus, den grössten Einfluss auf die Schwindung des austrocknenden Bodens (SCHÜBLER). Hierbei wird jeder Boden, der nicht reiner Sandboden ist (gelblicher Sand und Glimmersand zeigten beim Trocknen keine merkbare Abnahme der Dimensionen), beim Austrocknen in den oberen Schichten von Spalten durchsetzt. Je langsamer der Boden austrocknet, in um so grösserer Entfernung treten die Risse auf; je rascher die Austrocknung erfolgt, um so mehr sind sie genähert. Sie durchziehen den Boden immer senkrecht auf die Spannungsrichtung in verticalen Ebenen; Bodenspalten, welche zur Oberfläche parallel laufen, gibt es nicht. Die Lockerung und Krümelung des Bodens, die keine Volumänderungen durch Austrocknen wahrnehmen lässt, verhindert auch die Zerklüftung. Dagegen fand jedoch WOLLNY<sup>1)</sup>, dass die Risse, welche sich bei starker Austrocknung im Boden bilden, um so zahlreicher, von um so unregelmässigerer Gestalt und grösserer Breite, sowie von um so grösserer Tiefe sind, je lockerer die Bodentheilchen gelagert sind. Er führt dies auf den Umstand zurück, dass

---

1) WOLLNY, Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. V.



im dichteren Boden die Vertheilung des Wassers eine viel gleichmässigere und die Cohärenz eine grössere ist. Ein Bedecktsein des Bodens mit Pflanzen, welches eine Beschattung und langsamere Verdunstung aus den oberen Schichten bewirkt, bewirkt auch, dass in einem solchen Boden die Risse in grösseren Abständen sich zeigen (HABERLANDT)<sup>1)</sup>. Auf diese Spaltenbildung muss bei den hygienisch so wichtigen Austrocknungsphänomenen der Sümpfe u. s. w. Rücksicht genommen werden. Sie vermitteln die leichtere Communication mit unteren Bodenschichten und da sie den Luftzutritt begünstigen, eine grössere Bodenoberfläche der Luft exponiren, befördern sie auch weiter die Austrocknung und damit erneute Spaltenbildung.

In den Wechselfieberdistrikten Italiens, im Litorale, in den Maremmen von Toskana, im Val di Chiana bei Arezzo, findet man einen sumpfigen Unterboden, *cuora palustre* bei den Eingeborenen genannt. Dieser Boden ist vielfach von guter Erde bedeckt, förmlich begraben von oft sehr mächtigen Auflagerungen (*el terreno di colmata*). So lange nun diese eine schützende Decke abgeben, in hinreichend dicker, compacter Schicht vorhanden sind, so lange ist der Boden unschädlich. Er wird aber gefährlich, sobald durch gewisse Continuitätstrennungen, Spaltenbildungen u. dergl. der Untergrund blossgelegt wird und in Beziehung zur atmosphärischen Luft treten kann<sup>2)</sup>.

---

#### VIERTES CAPITEL.

### Die Beziehungen des Bodens zur Wärme und die Temperaturverhältnisse des Bodens.

Für die Temperaturverhältnisse des Bodens, so weit es sich um die im Boden selbst gelegenen Bedingungen handelt, werden hauptsächlich jene Eigenschaften der Bodenconstituenten maassgebend sein, welche die Fähigkeit derselben, Wärme aufzunehmen, und dieselbe wieder abzugeben und endlich weiter zu leiten, repräsentiren. Es wird also 1. das Ein- und Ausstrahlungsvermögen, 2. die Wärmecapacität (*spec. Wärme*) und 3. die Wärmeleitungsfähigkeit der Bodenconstituenten in Betracht kommen.

Die Rolle, die einer jeden dieser drei thermischen Eigenschaften der Bodenconstituenten zufällt, ist eine verschiedenartige, je nach der topographischen Anordnung, in der sich die Bodenconstituenten

---

1) Fühling's landwirthschaftl. Zeitung. 1877. 21. Jahrg. S. 481. — HILGER's Jahresbericht der Agriculturchemie. 1877. S. 43.

2) KLEBS und TOMMASI-CRUDELI, Studien über die Ursache des Wechselfiebers. Archiv f. experimentelle Pathologie u. Pharmakologie. XI.

befinden, ob sie oberflächlich gelagert oder in die Tiefe versenkt sind; ferner auch je nach der Wärmequelle, die zur Einwirkung gelangt.

Wir haben drei verschiedene Wärmequellen zu unterscheiden, die in ihren Wirkungen sehr ungleichwerthig sind.

1. Die erste und mächtigste Quelle ist ausserhalb des Bodens zu suchen, es ist die Sonnenwärme; ihr Einfluss auf die Erwärmung der oberen Bodenschichten ist in mancher Beziehung viel mächtiger als auf die der Luft, welche letztere in den dem Boden anlagernden Schichten sogar wesentlich erst durch die Vermittelung des Bodens die Sonnenwärme zugeführt erhält. Die Sonnenwärme theilt sich der Erdoberfläche hauptsächlich durch Strahlung mit, ausserdem kommt mit Rücksicht auf die verschiedenartige Erwärmung der Bodenoberfläche die Wärmecapacität in Betracht. Für die tieferen Bodenschichten ist dann die Wärmeleitung in Combination mit der Wärmecapacität der maassgebende Factor.

Die beiden anderen Wärmequellen liegen im Boden selbst. Es ist

2. die Wärme, welche im Boden in Folge chemischer oder physikalischer Processe entsteht; ihre Entwicklung ist meist eine so allmähliche und ihre Wirkung mit Rücksicht auf die grossen Bodenmassen eine so geringfügige, dass sie nur innerhalb beschränkter Localitäten zur Geltung kommen kann, allerdings in gewissen Fällen doch wieder in bedeutungsvoller Weise, und gerade in jenen Bodenschichten, denen wir eine hygienische Bedeutung zuzuschreiben berechtigt sind.

3. die innere Erdwärme. Ihr Einfluss tritt mit Rücksicht auf die grosse Entfernung, in der sich die vom hygienischen Gesichtspunkte zu betrachtenden Bodenschichten von ihrer Quelle befinden, weit zurück.

Für die Erwärmung des Bodens durch die beiden letztgenannten Wärmequellen kommt hauptsächlich die Wärmeleitung und die Wärmecapacität in Betracht.

### I. Ein- und Ausstrahlung der Wärme.

Die Wärmestrahlung, jener Vorgang, durch welchen die Sonnenwärme auf die Erdoberfläche übertragen wird, beruht in der That, dass von zwei verschieden temperirten, nicht mit einander in Berührung stehenden Körpern der höher temperirte Körper Wärme verliert, der nieder temperirte Wärme gewinnt, welcher Vorgang sich in einem dazwischen liegenden Medium abspielt, ohne dass dieses Medium sich erwärmt. Es ist diese Art der Wärmeausstrahlung mit der Fortpflanzung des Lichts zu vergleichen. So wie dieses den durchsichtigen Körper durchdringt, ohne in die Körper überzugehen und sie leuchtend zu machen, so durchdringt auch die Wärme die diathermanen Körper, ohne sie zu erwärmen.

Wird ein Körper von Wärmestrahlen getroffen, so werden dieselben zum Theil regelmässig oder unregelmässig reflectirt, zum Theil dringen sie in den Körper hinein. Bei den diathermanen Körpern, d. h. solchen, welche die Wärme hindurchtreten lassen, pflanzt sich diese eindringende

Wärmemenge zum Theil nach demselben Gesetze durch den Körper fort, nach welchem sie sich in die Luft fortpflanzt; zum Theil wird sie in dem Körper festgehalten. Bei den adiathermanen Körpern tritt gar keine Wärme durch den Körper hindurch, sie wird ganz im Innern des Körpers festgehalten, sie wird absorbirt, wodurch der Körper erwärmt wird. Die Erwärmung des Körpers unter dem Einfluss der Strahlung ist also ein Werk der absorbirten Wärme und die Absorption ist die Umwandlung strahlender Wärme in innere Wärme.

Ebenso ist die Ausstrahlung, die Wärmeemission, welche erwärmte Körper gegenüber kühleren wahrnehmen lassen, die Umwandlung innerer Wärme in strahlende. Diese beiden Eigenschaften, die sich bei verschiedenen Körpern und unter verschiedenen Umständen verschieden verhalten, stehen miteinander in einem innigen Zusammenhange, insofern sie bei Temperaturen unter  $100^{\circ}$  gleichen Schritt einhalten; d. h. alle Umstände, welche die eine begünstigen, kommen gleicher Weise der andern zu statten. Es ist dies ein Fundamentalsatz, auf den wir in den weiteren Ausführungen Bedacht zu nehmen haben werden.

Die Eigenschaften der Bodenconstituenten, die die Wärme- strahlung wesentlich beeinflussen, sind die physikalische Beschaffenheit der Oberfläche, die chemische resp. mineralogische Zusammensetzung des Körpers. Die Oberflächen besitzen wesentlich verschiedenes Strahlungsvermögen, je nach dem, ob sie dichter oder lockerer Beschaffenheit sind. Je dichter die oberflächlichste Schichte, um so geringer ist die ausgestrahlte Wärmemenge. Deshalb ist Auflockerung der strahlenden Theile als Ursache der Vermehrung der Strahlung zu betrachten.

Im Einklang hiermit fand LANG<sup>1)</sup> bei seinen Bodenuntersuchungen, dass das feinste Material die Wärme am besten absorbirt und emittirt. Die Differenzen betragen bei Kornarten von 2 Mm. Durchmesser bis zu Pulverfeinheit und bei Temperaturen von  $30-40^{\circ}$  bis zu  $6^{\circ}$  C. Noch wirksamer macht sich sodann die Farbe<sup>2)</sup> der Bodenoberfläche geltend, die sogar den Einfluss der verschiedenen Dichte der Oberfläche übercompensiren kann. Die dunklere Färbung begünstigt sowohl die Absorption, als auch die Emission. Dementsprechend wird der lufttrockene Boden während der wärmeren Jahreszeit bei dichter oder dunkelgefärbter Oberfläche durchschnittlich wärmer, als bei lockerer oder hellgefärbter. Die Differenz kann über  $5^{\circ}$  betragen. Daher sind auch die täglichen Temperaturschwankungen bei dunkler Färbung grösser, als bei heller.

1) LANG, Ueber Wärmeabsorption und -Emission. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. Bd. I.

2) WOLLNY, Einfluss der Farbe des Bodens auf die Erwärmung. Ebenda. Bd. I. S. 43. Bd. IV. — LANG l. c. — LIEBENBERG, Untersuchungen über die Bodenwärme. 1875.

Der Einfluss der Färbung ist so gross, dass dunkle Böden selbst bei grösserer specifischer Wärme sich dennoch mehr erwärmen können, als lockere, z. B. humöser Lösslehm, Auenlehm, Sandmoorboden mehr als Diluviallehm, Diluvialmergel, Eisenmoorboden. Am stärksten ist die Erwärmung bei Sandmoorboden (schwarze Farbe und geringe Wärmecapacität; Tertiärthon (mit weisser Farbe) erwärmt sich trotz geringer Wärmecapacität am wenigsten.

Nach LANG findet sich für die relative Grösse des Absorptions- und Emissionsvermögens folgende absteigende Reihe: Kienruss, Torf, Quarz, Marmor, Kaolin. In welcher Weise sich hierbei auch der physikalische Charakter der Bodenarten ausspricht, ist nicht festgestellt.

Den Variationen bezüglich der Beschaffenheit der Bodenoberfläche haben wir auch den Pflanzenwuchs, die Vegetation zuzuzählen. Sie beeinflusst das Strahlungsvermögen des Bodens in wesentlicher Weise. Nach MAQUENNE<sup>1)</sup> absorbiren die Blätter einen grossen Theil der Wärmestrahlen, die dickeren mehr als die dünneren und ist das Ausstrahlungsvermögen derselben bei einem grossen Temperaturüberschuss gleich dem des Russes, das Absorptionsvermögen des Chlorophylls gleich dem des Wassers.

Da ferner das Wärmestrahlungsvermögen um so grösser ist, je grösser die Oberfläche, so muss ein dichtgeschlossener Pflanzenboden schon wegen der in ihm gegebenen Vergrösserung der Oberfläche ein grösseres Absorptions- und Emissionsvermögen besitzen. Nach WELL's und DANIELL's Beobachtungen kann die Temperatur des Wiesenbodens während 10 Monaten unter den Gefrierpunkt sinken<sup>2)</sup>. Doch wirken bezüglich der Erwärmung der Bodenoberfläche noch andere Momente mit, so die Verdunstung, der Wassergehalt, welche das Resultat wesentlich modificiren (vergl. S. 122).

Der Wassergehalt des Bodens spielt bei dem Strahlungsvermögen desselben jedenfalls auch eine wesentliche Rolle, die aber bisher experimentell nicht ausreichend erforscht ist. Dort wo das Wasser den Boden vollständig bedeckt, und auf diese Weise die Oberfläche zu einer mehr gleichmässigen, homogenen und continuirlichen macht, sollte schon aus diesem Grunde das Strahlungsvermögen vermindert werden, und demnach auch eine geringere Erwärmung und auch geringere Abkühlung erfolgen. Dazu kommen dann noch die Effecte der grösseren Wärmecapacität, des grösseren Wärmeleitungsvermögens und die durch die Verdunstung erzeugten Abkühlungen, die diese Wirkung des Wassers noch steigern.

---

1) Naturforscher. 1881.

2) SCHMID, Lehrbuch der Meteorologie. 1860.



Ein zweiter Factor, der bestimmend wirkt auf die durch eine jeweilige Wärmequelle hervorzurufende Erwärmung, Temperaturerhöhung des Bodens, ist die Wärmecapacität.

Wir verstehen unter Wärmecapacität eines Körpers die Anzahl von Wärmeeinheiten, welche erforderlich sind, diesen Körper um einen Temperaturgrad zu erwärmen; und das Verhältniss dieser Wärmemenge zu der Wärmemenge, welche erforderlich ist, um ein gleiches Gewicht Wasser um einen Grad zu erwärmen, nennen wir specifische Wärme<sup>1)</sup>.

Für die einzelnen der häufiger vorkommenden Mineralien, die in der Zusammensetzung der Erde eingehen (vergl. S. 8 u. ff.), sind folgende Werthe gefunden worden:

Wasser	1,0000	(REGNAULT) <sup>2)</sup> .
Holz	0,543	(MAYER) <sup>2)</sup> (Tannenholz 0,654, Eichenholz 0,570, Birnbaumholz 0,500).
Eis	0,513	(DESAINS), 0,5037 (PERSON), 0,5333 (HESS) <sup>2)</sup> .
Torf	0,477—0,529	(LANG) <sup>3)</sup> , (PFAUNDLER) <sup>4)</sup> .
Kohlensaure Magnesia	0,276	(NEUMANN), 0,2439 (REGNAULT) <sup>2)</sup> .
Gyps	0,2728	(NEUMANN) <sup>2)</sup> .
Kohlensaurer Kalk	0,271	(LAVOISIER u. LAPLACE) <sup>3)</sup> , 0,27 (DALTON) <sup>3)</sup> , 0,20858 (REGNAULT) <sup>2)</sup> .
Luft	0,2669	<sup>2)</sup> .
Weisser Thon	0,241	(GADOLIN) <sup>3)</sup> .
Kaolin	0,233	(LANG) <sup>3)</sup> .
Thonerde	0,217	(aus der Formel berechnet) <sup>3)</sup> .
Marmorpulver	0,214	(LANG) <sup>3)</sup> .
Flussspath	0,2082	(NEUMANN) <sup>2)</sup> .
Kalkspath	0,2046	"
Aragonit	0,2018	"
Hornblende	0,1958	"
Augit	0,1938	"
Feldspath	0,1911	"
Kiessand	0,190	(FISCHER) <sup>3)</sup> .
Quarz	0,186	(KOPP), 0,1883 (NEUMANN), 0,1913 (REGNAULT).
Quarzsand	0,1963	(LANG) <sup>3)</sup> .
Schwefelkies	0,1256	(NEUMANN) <sup>2)</sup> .
Blende	0,1144	"
Schwerspath	0,1088	"

Entsprechend dieser Tabelle sind die Unterschiede in der Wärmecapacität der einzelnen petrographischen Bodenconstituenten insofern, als wir das Wasser mit in die Reihe aufnehmen, nicht unbedeutend

1) MAXWELL, Theorie der Wärme. Deutsch von F. NEESEN. 1878. S. 74.

2) Nach MOUSSON, Die Physik auf Grundlage der Erfahrung.

3) LANG, Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. I.

4) PFAUNDLER, Pogg. Ann. 129. 1866.

zu nennen. Zu dieser Mitberücksichtigung des Wassers haben wir aber vollen Anlass, wenn wir bedenken, welche ausserordentliche Rolle es in der Zusammensetzung, wenigstens der oberen Bodenschichten, spielt. Das Wasser steht nun in unserer Reihe obenan, es hat die grösste Wärmecapacität, sie übertrifft die des Schwerspaths, des letzten Minerals in unserer Reihe um das neunfache, die des Quarzes, Feldspaths um mehr als das fünffache, die des Kalkspaths, des Marmors, der Thonerde um mehr als das vierfache.

An das Wasser schliessen sich dann die pflanzlichen Gebilde, die Materien organischen Ursprungs, Holz und Torf.

Gegenüber den Differenzen nun zwischen der Wärmecapacität des Wassers einerseits und der Mineralien andererseits treten die Unterschiede in der Wärmecapacität der Mineralien unter einander bedeutend zurück, die grösste Differenz in der hier angeführten Reihe zwischen kohlenaurer Magnesia und Schwerspath drückt sich in dem Verhältniss 0,28 resp. 0,24 zu 0,11 aus oder 2,5 resp. 2,1 zu 1.

Noch wichtiger für die Beurtheilung der thatsächlichen Verhältnisse können die Bestimmungen der Wärmecapacität von natürlichen Bodenarten werden, welche als Gemenge von Mineralien unter Beimischung von organischen Stoffen, meist auch von Luft und Wasser aufzufassen sind, und dasjenige Material repräsentiren, das als oberflächliche Bodenschichte eben der Erwärmung ausgesetzt ist.

Nebestehende (S. 131) von mehreren Untersuchern herrührende Tabelle gibt einige mit der Mischungsmethode gefundene Werthe.

Die Werthe dieser Tabelle zeigen keine volle Uebereinstimmung. Es variiren diese Bodenarten trotz ihres gleichartigen mineralogischen Charakters nicht unbedeutend, bis um 16 %. Sodann sehen wir auch grosse Differenzen je nach dem Zustande, ob der Boden lufttrocken oder bei 100° getrocknet untersucht wurde. Diese Differenzen gehen bis zu 14 % (Haideerde), ja sogar bis zu 48 % (Eisenmoorboden).

Es ist aber begreiflich, warum sich diese Schwankungen einstellen müssen. Die Zusammensetzung natürlicher Bodenarten zeigt trotz gleicher petrographischer Classification und trotz scheinbar gleichartiger Beschaffenheit eine genügende Verschiedenheit, um ein Generalisiren der gewonnenen experimentellen Resultate zu verhindern. Hierzu kommt aber noch als schwerwiegender Factor der Wassergehalt des Bodens. Denn da die Wärmecapacität des Wassers gegenüber der der Bodenarten und gegenüber der der Luft eine so bedeutende ist — die des Wassers = 1,000, die der Luft = 0,2669 dem Gewichte nach und 0,1686 dem Volumen nach —, so muss schon die Beimischung von relativ geringen Wassermengen eine

Nach LIEBENBERG <sup>1)</sup>			Nach PFAUNDLER <sup>2)</sup>			Nach LANG <sup>3)</sup>	
	luft-trocken	bei 100° getrocknet		luft-trocken	bei 100° getrocknet		bei 100° getrocknet
Tertiärsand, grober . . .	0,268	0,268	Türkenschanze bei Wien . . .	0,2062	0,2029	—	—
„ feiner . . .	0,275	0,275	—	—	—	—	—
Diluvialsand, grober . . .	0,192	0,191	Bei Pest . . . . .	0,1945	0,1923	—	—
„ feiner . . .	0,162	0,160	Donaufur (Niederösterreich) . .	0,2163	0,2140	—	—
Alluvialsand . . .	—	—	—	—	0,2081	—	0,249
Kalksand . . . . .	0,191	0,188	—	—	—	—	—
Diluviallehm . . . . .	0,225	0,220	—	—	—	—	—
Diluvialmergel . . . . .	0,257	0,249	—	—	—	—	—
Lösslehm . . . . .	0,277	0,259	—	—	—	—	—
Lössmergel . . . . .	0,292	0,284	—	—	—	—	—
Humöser Lösslehm . . . .	0,329	0,310	—	—	—	—	—
Auelehm . . . . .	0,322	0,299	Schiefgehängen bei Dürenstein, Gneuss . . . . .	0,2258	0,2147	—	—
Schiefer . . . . .	—	—	—	—	—	—	—
Porphyryverwitterung . . .	0,219	0,209	Oesterr.-mähr. Plateau . . . .	0,2821	0,2793	—	—
Serpentinstein . . . . .	—	—	—	—	—	—	—
Basaltboden . . . . .	0,330	0,346	Plateau in Oberösterreich . . .	0,3587	0,3489	—	—
Granitboden . . . . .	0,388	0,380	Kalkberg im Wiener Wald . . .	0,3044	0,2829	Humöser Kalkboden	0,257
Kalkboden (Muschelkalk) . .	0,351	0,339	„ in den Voralpen (Nieder- österreich. Aptychenkalk . . .	0,3289	0,3161	—	—
—	—	—	Kalkalpen (Oetscher, Niederösterr.)	0,3075	0,2829	—	—
Sandmoorboden . . . . .	0,270	0,261	Wiesenmoor . . . . .	0,2598	0,2507	—	—
Haideerde . . . . .	0,365	0,312	Steppenboden, thonig . . . .	0,2836	0,2682	—	—
Eisenmoorboden . . . . .	0,221	0,122	—	—	—	—	—
Hochmoor . . . . .	—	—	Steiermark . . . . .	0,5293	0,5069	—	—
Tertiärthon . . . . .	0,182	0,161	—	—	—	—	—
Humusreiche Krume . . . .	—	—	—	0,4436	0,4143	—	—
Erde von sehr fruchtbarem Weizenacker . . . . .	—	—	—	0,3037	0,2847	—	0,267
Gartenerde . . . . .	—	—	—	—	—	—	—

1) LIEBENBERG, Untersuchungen über die Bodenwärme. Halle 1875. Habilitationsschrift.

2) PFAUNDLER, Poggend. Annalen. Bd. 129. 1866. 3) LANG, Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. Bd. I.

ganz bedeutende Verschiebung des Resultates hervorbringen, während die Luft mit ihrer Wärmecapacität der der verschiedenen Gesteinsarten viel näher steht. Da nun aber der Wassergehalt des Bodens von der verschiedenen physikalischen und zum Theil auch chemischen Beschaffenheit des Bodens wesentlich abhängt (Cap. III), so werden diese Eigenschaften auch mittelbar die Wärmecapacität des Bodens beeinflussen. Die Schwankungen in der Wärmecapacität der einzelnen Bodenarten unter einander gegenüber den durch den wechselnden Wassergehalt hervorgerufenen treten in der That etwas zurück. Das Verhältniss der höchsten Wärmecapacität zur niedrigsten ist nach LIEBENBERG ca. 3,2 : 1, nach PFAUNDLER 2,6 : 1. Das Verhältniss der höchsten Wärmecapacität des Wassers zur niedrigsten Wärmecapacität der Bodenarten dagegen nach LIEBENBERG 8,2 : 1, nach PFAUNDLER 5,2 : 1.

SCHUHMACHER <sup>1)</sup> gibt über diesen Einfluss des Wassergehalts folgendes rechnerische Beispiel: Wenn der Sandlehm, dessen Wärmecapacität 0,1572 gefunden wurde, 50 % Wasser enthielte, so würde die Wärmecapacität des nassen Bodens  $\frac{1 \cdot 1,100 + 1 \cdot 0,1571}{2} = 0,5786$  sein. Enthielte er

nur 25 % Wasser, so würde sie sein  $\frac{1 \cdot 1,000 + 3 \cdot 0,1572}{4} = 0,3679$ .

Im ersteren Falle würde beinahe 4 mal, im zweiten Falle 2½ mal soviel Wärme nöthig sein, die Temperatur des feinsten Bodens etwa von 0° auf 10° zu erhöhen, oder bei gleicher Wärmezufuhr 4 mal resp. 2½ mal soviel Zeit, als bei demselben Boden im trockenen Zustande.

Es könnte also leicht der Fall eintreten, dass die Eruirung des Wassergehalts des Bodens wichtiger ist für die Beurtheilung der Wärmecapacität, als der der einzelnen mineralogischen Bestandtheile.

Hervorzuheben wäre noch, dass die auf das Volumen bezogenen Wärmecapacitäten bei den einfachen Körpern weniger unter einander differiren, als dieses bei der auf das Gewicht bezogenen der Fall ist, wie folgende Tabelle LANG's (l. c.) zeigt:

	Wärmecapacität	
	dem Volumen nach	dem Gewichte nach
Luft . . . . .	0,1686	0,2669
Quarzsand . . . . .	0,517	0,196
Marmor . . . . .	0,582	0,214
Kaolin . . . . .	0,576	0,233
Torf . . . . .	0,601	0,477
Gartenerde . . . . .	0,651	0,267
Wasser . . . . .	1,000	1,000

1) SCHUHMACHER, Die Physik des Bodens in ihren theoretischen und praktischen Beziehungen zur Landwirtschaft.



Anders ist dies bei den Bodenarten, die sich aus den einzelnen Bodenconstituenten zusammensetzen.

Die von LIEBENBERG (l. c.) untersuchten Bodenarten zeigen folgende Verschiedenheiten in der spec. Wärme auf das Volumen bezogen.

	Spec. Wärme, bezogen auf Volumen	
	lufttrocken	bei 100° getrocknet
Tertiärsand, grober . . .	0,464	0,464
"          feiner . . .	0,454	0,454
Diluvialsand, grober . . .	0,346	0,344
"          feiner . . .	0,269	0,266
Kalksand . . . . .	0,222	0,218
Diluviallehm . . . . .	0,322	0,315
Diluvialmergel . . . . .	0,360	0,349
Lösslehm . . . . .	0,343	0,321
Lössmergel . . . . .	0,400	0,389
Humöser Lösslehm . . . .	0,382	0,359
Auelehm . . . . .	0,412	0,383
Porphyerverwitterung . . .	0,304	0,291
Granitboden . . . . .	0,446	0,437
Basaltboden . . . . .	0,380	0,346
Muschelkalkboden . . . .	0,450	0,434
Sandmoorboden . . . . .	0,313	0,303
Haideerde . . . . .	0,161	0,136
Eisenmoorboden . . . . .	0,146	0,081
Tertiärthon . . . . .	0,216	0,192

Es macht sich hier jedenfalls wieder der Einfluss von Luft und Wasser geltend; wir sehen dies besonders an den drei letzten Bodenarten, die offenbar wegen ihres Luftgehaltes von den anderen so differiren.

Die Differenzen, die aber durch eine eventuelle Verdrängung des Wassers durch Luft eintreten müssen, werden sehr bedeutend sein, entsprechend dem Umstande, dass die Wärmecapacität des Wassers zu der der Luft sich wie 1,000 zu 0,1686 verhält.

Die Versuche SCHWARZ's <sup>1)</sup> (vergl. S. 105) gewähren hierin einen belehrenden Einblick.

#### Wärmecapacität bezogen auf gleiche Volumen.

Bodenart	Bei 100° getrocknet		Lufttrocken		Capillar gesättigt	
	absolut	relativ	absolut	relativ	absolut	relativ
Moor . . . . .	0,140	(1,00)	0,191	(1,36)	0,960	(6,85)
Sand . . . . .	0,325	(2,32)	0,347	(2,48)	0,675	(4,82)
Lehm . . . . .	0,326	(2,33)	0,341	(2,46)	0,762	(5,44)
Thon . . . . .	0,289	(2,00)	0,406	(2,90)	0,804	(5,74)

1) Ber. über die Arbeiten der landwirthsch.-chem. Versuchsstation. 1870—71.

Die dominirende Rolle des Wassers tritt hier aufs Deutlichste hervor, den Einfluss der anderen Factoren compensirend resp. übercompensirend. Um den betreffenden Vergleich zu erleichtern, wurden sämtliche Zahlen auf eine Einheit reducirt, als welche letztere der bei 100° getrocknete Moor genommen wurde (vergl. die Zahlen in Klammern). Es wird so ersichtlich, dass nicht bloß die Unterschiede mit dem steigenden Wassergehalte unter den einzelnen Bodenarten geringer werden (vom 2,3 fachen — bei 100° getrocknet — mindern sie sich herab auf das 2,1 fache — lufttrocken — und auf das 1,4 fache — capillar gesättigt —), sondern dass sogar die ganze Reihenfolge geändert wird, so dass der Moor, der trocken die geringste Wärmecapacität besitzt, im capillar gesättigten Zustande an die erste Stelle tritt, da er eben am meisten Wasser aufzunehmen vermag.

Die Wärmecapacität der betreffenden Materialien im capillar gesättigten Zustande übertrifft die Wärmecapacität der bei 100° getrockneten Materialien um das 2—6,8 fache, die der lufttrockenen um das 2—5 fache.

Die bisherigen Untersuchungen über Wärmestrahlung und Wärmecapacität gewähren uns schon einen Einblick in das Verhalten unserer Bodenoberfläche zur Wärme<sup>1)</sup> und die daraus resultirenden Temperaturschwankungen; wir müssen nur noch berücksichtigen, dass die Bodendecke und als solche ganz besonders das Wasser einen wesentlichen Einfluss üben.

Bei Einwirkung einer stärkeren Wärmequelle, also während der wärmeren Jahreszeit, ist die Bodenoberfläche im nassen Zustande im Durchschnitte kälter, als im trockenen oder bloß feuchten. Die grössere Wärmecapacität des Wassers lässt die Temperaturerhöhung nur allmählich erfolgen und die grössere Verdunstung entzieht dem Boden wieder Wärme, dabei kann in Folge des gesteigerten Wärmeleitungsvermögens (S. 150) die Wärme leichter an die tieferen Schichten und an die Luft abgegeben werden. Ebenso ist zur Zeit des täglichen Maximums der Temperatur der Bodenoberfläche der Temperaturunterschied zwischen nassem und trockenem Boden am grössten. In kälterer Jahreszeit oder zur Zeit des täglichen Minimums, in den ersten Morgenstunden, ist meist der nasse

---

1) Es wird in diesem Capitel die S. 6 ausgesprochene Eintheilung insofern durchbrochen, als die Temperaturverhältnisse des Bodens als Ganzes in das Bereich der Erörterung gezogen werden. Es hängt dies mit den besonderen Wechselbeziehungen zwischen Wärmequelle und Bodenwärme zusammen, die sich schwer trennen lassen und der Zeit eine einheitliche Behandlung verlangen.

Boden wärmer als der trockene, da hier der Wassergehalt wieder regulirend einwirkt, die Abkühlung ebenfalls viel langsamer erfolgt und wohl auch die Strahlung eine geringere ist. So sind denn im Allgemeinen die Temperaturschwankungen des nassen Bodens geringer als die des trockenen <sup>1)</sup>.

In grösserem Maassstabe, den klimatischen Charakter bestimmend, äussert sich dieser Einfluss des Wassers an Inseln und Küsten, wo in Folge dieser thermischen Eigenthümlichkeiten des Wassers weit weniger absteigende Temperaturextreme auftreten und so die Gleichmässigkeit des „Seeklimas“ hergestellt wird (vgl. auf S. 144 u. 148 die Curven von Nukuss und Melbourne).

Die Vegetation wirkt zum Theil aus denselben Ursachen, zum Theil auch durch ihre Lebensthätigkeit dem Wasser analog. Ein nackter, vegetationsloser Boden wird heisser als ein mit Pflanzen bedeckter, den die Sonnenstrahlen nicht direct treffen. Ferner ergaben die Beobachtungen E. H. BECQUEREL's <sup>2)</sup> während des ungewöhnlich strengen Winters 1879/80, dass im berasteten Boden die Temperaturschwankungen viel geringere waren und der Frost auch nicht so tief herabreichte, als im nicht berasteten.

Für den bewaldeten Boden hat EBERMAYER <sup>3)</sup> nachgewiesen, dass derselbe im Jahresmittel kühler ist als unbewaldeter. Die Temperatur ist niedriger, weil die Bäume und die Streudecke die directen Strahlen abhalten und die eigene absorbirte Wärme nur sehr langsam weiter leiten. Die Temperaturunterschiede machen sich besonders im Sommer geltend, wo sie viel bedeutender sind als im Winter. (Eine Schneedecke lässt die Differenzen fast vollständig verschwinden; dagegen bietet bei Mangel einer Schneedecke die Streudecke Schutz gegen rasches und tiefes Eindringen des Frostes.)

#### *A) Erwärmung der Bodenoberfläche.*

Um ein Bild über die Temperaturverhältnisse der Erdoberfläche zu gewinnen, ist es nothwendig, auch die Wärmequelle, von welcher diese abhängig sind, mit in Betracht zu ziehen, und die Beziehungen der beiden zu einander.

Die Wärmequantitäten, die der Erde durch Strahlung von Seiten der Sonne zugeführt werden, die absolute Intensität der Sonnenstrahlung, wird in dem Begriff der Sonnenconstante aus-

1) WOLLNY, Landwirthschaftl. Jahrbücher. V. 1876.

2) Comptes rendus. XCII. p. 1253.

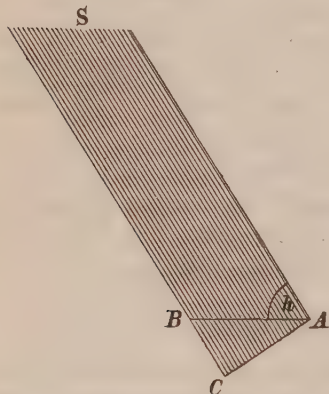
3) EBERMAYER, Die physikalischen Einwirkungen des Waldes auf Luft und Boden.

gedrückt. Wir verstehen darunter diejenigen Calorien, welche innerhalb 1 Minute auf 1 □ Cm. Erde bei senkrechter Bestrahlung von der Sonne übergehen. Sie beträgt nach actinometrischen Messungen *POUILLET's* <sup>1)</sup>, Paris 1837/38, 1,76 Calorien. (*HAGEN* fand aus Messungen in Madeira 1861/67 die Solarconstante zu 2, *CROVA* 1875/76 1,9—2,3, *VIOLLE* [Mont Blanc] 1875 2,56, *LANGLEY* [Alleghany] 1881 2,82, *FERREL* 1883 2,1.) <sup>2)</sup> Daraus ergibt sich für die gesammte Wärmemenge, welche von der Sonne auf die Erde zu überströmen vermag, eine Summe von jährlich mehr als 1½ Quatrillionen Wärmeinheiten. Diese Wärmemenge würde genügen, eine Eisschicht von 4,481 Meter, nach *WÜLLNER* jedoch von 28,96 Meter Dicke über der ganzen Erdoberfläche zu schmelzen.

Die Intensität und Quantität der Strahlung <sup>3)</sup>, welche ein bestimmter Punkt an der Erdoberfläche erhält, wird aber von den verschiedenen Beziehungen zwischen Sonne und Erdoberfläche beeinflusst.

Zunächst von dem Einfallswinkel der Strahlen oder von der Sonnenhöhe und von der Dauer der Bestrahlung, d. i. von der Tageslänge.

Fig. 4.



Die Fläche *AB*, auf welche die Sonnenstrahlen nicht senkrecht auf fallen, enthält in dem Maasse eine geringere Bestrahlung als die Fläche *AC*, auf welche die Sonnenstrahlen senkrecht auftreffen, als die Fläche *AB* die Fläche *AC* an Grösse übertrifft. Aus der Zeichnung ist ersichtlich, dass eben dieselbe Strahlenmenge sich einmal auf die kleinere senkrechte Fläche *AC*, das andere Mal auf die grössere geneigte Fläche *AB* vertheilt und zwar verhält sich die Intensität der Bestrahlung auf

die Fläche *AB* ( $= J'$ ) zu jener auf der Fläche *AC* ( $= J$ ) umgekehrt, wie die Grösse dieser Fläche

$$J' : J = AC : AB.$$

Daraus berechnet sich

$$J' = J \cdot \frac{AC}{AB} = J \sin h.$$

1) Comptes rendus. 1838.

2) Naturforscher. 1885. S. 50.

3) Ich folge in dieser Entwicklung der Wärmestrahlung zum grossen Theil der vortrefflichen Darstellung *HANN's* in seinem Handbuch der Klimatologie.



$h$  ist hierbei der Ausdruck für die Sonnenhöhe, d. h. für jenen Winkel, unter welchem die Strahlen auffallen, d. h. den sie mit dem betreffenden Horizont bilden.

Die Intensität der Bestrahlung ändert sich also proportional mit dem Sinus der Sonnenhöhe und nimmt demnach mit der geographischen Breite ab, nach einem complicirten Gesetze, auf welches hier nicht eingegangen werden kann.

Einen grossen Einfluss auf den Betrag der Isolation und Bodenwärme hat auch die Exposition. Die Umgebungen der Pole selbst ausgenommen, wo die Sonne rings um den Horizont herumgeht, gibt es auf jeder Hemisphäre eine besonders begünstigte und eine besonders zurückgesetzte Abdachung in Bezug auf den Betrag der Sonnenstrahlung, den dieselbe empfängt. Auf der nördlichen Hemisphäre sind es die Südhänge, welche vermöge des steileren Einfallens der Strahlen eine grössere Insolation erhalten, auf der südlichen die Nordhänge. Dazu kommt bei geringerer Sonnenhöhe die längere Dauer der Beschattung der von der Sonne abgewendeten Abhänge, welche den Insolationüberschuss der südlichen Gehänge (auf unserer Halbkugel) noch vermehrt. In den Aequinoctialgegenden sind Nord- und Südhänge gleich begünstigt, hingegen haben die Ost- und Westabhänge eine etwas längere Beschattung.

Bei Innsbruck beträgt der Unterschied der Bodenwärme zwischen Süd- und Nordhang noch in 0,8 Meter Tiefe im Jahresmittel 3,3, im Sommer  $4^0$  und wird an der Oberfläche erheblich grösser sein (HANN).

Die gesammte strahlende Wärme der Sonne gelangt jedoch nicht bis zur Bodenoberfläche, ein Theil wird bereits von der Atmosphäre absorbiert. Zwar ist das Absorptionsvermögen der Luft in trockenem Zustande sehr gering. Das Absorptionsvermögen des Vacuums gleich 0,000 gesetzt, beträgt das der trockenen Luft 0,030 (das des Wasserstoffs 0,026), trotzdem erhält nach POUILLET die ganze beschienene Halbkugel nur etwa 0,6 der auf sie strahlenden ursprünglichen Wärmemenge, während 0,4 davon im Luftkreise bleiben, der dadurch zu einem Wärmereservoir und Wärmeregulator wird.

Man hat vorwiegend dem Wasserdampf in der Luft diese wärmeabsorbirende Eigenschaft zugeschrieben. Nach TYNDALL soll derselbe ein 40 fach so grosses Absorptionsvermögen besitzen als das der Luft ist. MAGNUS sucht dem gegenüber nachzuweisen, dass das von TYNDALL dem Wasserdampf zugeschriebene Absorptionsvermögen nicht diesem als solchem, sondern den Nebelbläschen, Niederschlägen und dergl. zuzuschreiben ist. Die Versuche von

MAGNUS<sup>1)</sup>, von LECHER und PERTNER<sup>2)</sup> lassen die durch Wasserdampf erfolgende Absorption unermesslich klein erscheinen, dagegen soll die in der atmosphärischen Luft vorhandene Kohlensäure die Rolle des absorbirenden Mediums übernehmen [LECHER<sup>3)</sup>, HEINE<sup>4)</sup>]. Andererseits aber muss wohl auch die Aufmerksamkeit auf die in der Luft suspendirten körperlichen Theile, die Staubmassen, gelenkt werden, die jedenfalls auch einen bedeutenden absorbirenden Einfluss besitzen.

Der Einfluss, den die Atmosphäre auf den Effect der Sonnenstrahlung und der Erdoberfläche nimmt, ist überdies ein zweifacher. Es wirkt einmal die jeweilige Beschaffenheit der Atmosphäre, die Strahlung hängt davon ab, ob der Himmel rein oder trübe, bedeckt ist. Nebel vermindern den Unterschied, der durch Strahlung hervorgerufen wird. Dichte, niedrige Wolken, deren Temperatur die der unteren Atmosphäre ist, strahlen nahezu ebenso viel Wärme zum Boden zurück, als sie von ihm empfangen. Dichte, hohe Wolken hingegen können dies wegen ihrer niedrigen Temperatur nicht, verhindern deshalb die Erkaltung des Bodens nicht vollständig.

Ausserdem wirken die in der Atmosphäre suspendirten feinen Theilchen, Staubpartikel, Wassertropfen u. A. reflectirend und zerstreuend auf die Sonnenstrahlung und machen so die Atmosphäre zu einer Licht- (diffuses Tageslicht) und Wärmequelle, welche wegen ihrer grossen Ausdehnung von erheblicher Wirkung ist. Besonders in hohen Breiten, wo die Absorption der directen Strahlung bei dem tiefen Sonnenstande sehr gross ist (vergl. folgende Seite), dafür aber auch die Dämmerung sehr lange, wird die diffuse Strahlung des Himmels von grosser Wichtigkeit.

Die Beeinflussung der Strahlung durch die Atmosphäre erfolgt sodann auch nach der quantitativen Seite hin, indem dieselbe, wolkenlosen klaren Himmel stets vorausgesetzt, eine um so grössere Strahlenmenge absorbirt, einen je längeren Weg letztere durch dieselbe zurücklegen muss. Die Sonnenhöhe kommt also nicht allein deshalb in Betracht, weil davon der Einfallswinkel der Strahlen abhängt, den wir früher in Rechnung gezogen haben, sondern weil dadurch auch die Länge des Weges bestimmt wird, den die Strahlen durch die Atmosphäre zurückgelegt haben. Die Intensität der Strahlung

---

1) Poggendorf's Annalen. Bd. 112 u. 118.

2) Wiener Academ. Berichte. II. Abth. Bd. 82.

3) Ibidem.

4) Ueber die Absorption der Wärme durch Kohlensäure. Inaug.-Dissert. Giessen 1882. Naturforscher. 1882.

nimmt deshalb mit tiefer sinkender Sonne in einem viel rascheren Verhältniss ab, als es ohne die Atmosphäre der Fall sein würde.

Die folgenden Zahlen geben die Dicke der atmosphärischen Schichten an, welche die Strahlung bei verschiedenen Sonnenhöhen durchlaufen muss, wenn die Höhe der Atmosphäre gleich 1 gesetzt wird, sowie die durchgelassene Strahlenmenge (für den Absorptionscoefficient 0,75).

Sonnenhöhe . . . . .	0°	5°	10°	20°	30°	50°	70°	90°
Dicke der Atmosphäre .	35,5	10,2	5,56	2,90	1,99	1,31	1,06	1,00
Durchgelassene Strahlenmenge . . . . .	0,000	0,053	0,202	0,434	0,564	0,687	0,736	0,750

Man sieht, dass bei niedrigem Sonnenstande die durchgelassene Strahlenmenge sehr geringfügig ist. (HANN.)

Es seien hier einige Beispiele angeführt, betreffend die Höhe der Bodentemperatur, wie sie durch die Bestrahlung herbeigeführt wird. HERSCHEL fand in der Bodenoberfläche in Südafrika eine Temperatur bis 70° C., NOUET bei Theben in Aegypten 67,5°, v. HUMBOLDT den Granitsand bei den Katarakten des Orinoco 60,3° und WINTERBOTTOM den Boden von Sierra Leone 59° 1).

Auf der durch die Atmosphäre erfolgenden Absorption der Wärmestrahlen beruht auch die Zunahme der Intensität der Sonnenstrahlen bei zunehmender Elevation. Denn da mit Zunahme der Erhebung über dem Meere die über dem Boden befindliche Luftsäule verkleinert wird, wird auch die Absorption der Wärmestrahlen durch diese Luftsäule kleiner und die Intensität der Wärmestrahlung grösser.

Die Folgen dieser gesteigerten Intensität der Sonnenstrahlung an heiteren Tagen treten dann in einer relativ gesteigerten Bodenwärme, besonders der oberflächlichsten Schicht, die die Luftwärme bedeutend übersteigt, zu Tage.

Nach MARTIUS waren die gleichzeitigen Temperaturverhältnisse von Luft und Boden am Faulhorn und in Brüssel folgende:

Temperatur um 9 h. Morgens, 10.—18. Aug. 1842.

Ort	Höhe	Luft	Bodenoberfläche
Faulhorn . . . . .	2680 Meter	8,2	16,2
Brüssel . . . . .	50 „	21,4	20,1

Die Temperatur des Bodens auf dem Faulhorngipfel war also nur um 4° niedriger als die von Brüssel, während die Luftwärme einen Unterschied von mehr als 13° zeigt. Die mittlere Schattentemperatur der Luft auf dem Faulhorn war 6,7, die der Bodenoberfläche 9,5 und in 1 Decimeter Tiefe 10,0°. Das mittlere Maximum

1) SCHMID, Lehrbuch der Meteorologie. 1860. S. 135.





Nach L. v. BUCH ist zu St. Cruz und Funchal auf Teneriffa die Nachtkühlung gering, da diese Orte von nahen, zum Theil steilen Höhen beherrscht werden. Dagegen auf der eine halbe deutsche Quadratmeile weiten Ebene von Laguna erkaltet die Bodenoberfläche im Winter bis unter den Gefrierpunkt. Man hat daher auf dieser Ebene wohl messerrückendickes Eis, obwohl niemals Schneefall. Die Eisbildung geht hier gar nicht von der Atmosphäre aus, sondern von der unter die Temperatur der Atmosphäre abgekühlten Bodenoberfläche<sup>1)</sup>.

Nach den Beobachtungen DANIELL's ergab in London die Erkaltung des Bodens durch Strahlung als mittleres Maximum (monatlicher Durchschnitt  $1,9-3,4^{\circ}\text{C.}$  als absolutes Maximum  $5,56$  bis  $9,44^{\circ}\text{C.}$ ) (Juni) bei mittlerer Lufttemperatur von  $0,33-11,61^{\circ}\text{C.}$  Es ging aus diesen Beobachtungen hervor, dass mit Ausnahme von Juli und August die Temperatur der Bodenoberfläche während des ganzen Jahres unter den Gefrierpunkt sinken und sich demselben selbst im Juli und August bis auf  $3^{\circ}\text{C.}$  nähern kann.

In der Tropenzone betrug nach SABINE die durch Strahlung hervorgerufene Abkühlung

In Bahia bei Lufttemperaturen (Tagestemperaturen, keine

Mittelwerthe) von  $17,8-22,2^{\circ}\text{C.}$  . . . . .  $0,6-5^{\circ}\text{C.}$

Auf Jamaica am Meeresufer bei Lufttemperaturen von

$24,4^{\circ}\text{C.}$  . . . . .  $2,2-6,4^{\circ}\text{C.}$

Auf Jamaica in 4000' Höhe bei Lufttemperaturen von

$17,2-18,3^{\circ}\text{C.}$  . . . . .  $5-10^{\circ}\text{C.}$

Auch für den Schnee ist die durch Ausstrahlung bewirkte Abkühlung von BOUSSINGAULT, BRAVAIS und MARTIN constatirt, von WEYPRECHT<sup>2)</sup> auf der Insel Wilczek bei ausserordentlich niedrigen Temperaturen bestätigt.

Die Ergebnisse seiner Versuche lauten:

	Thermometer		Wirkung der Strahlung
	offen	bedeckt	
14. Dec. 1873 2 h. p. m.	— 45,7	— 42,2	— 3,7
15. " " 8 h. a. m.	— 41,4	— 39,1	— 2,3
16. " " 8 h. a. m.	— 45,6	— 42,5	— 3,1
29. " " 0 h.	— 34,6	— 32,7	— 1,9
16. Jan. 1874 8 h. a. m.	— 48,4	— 46,0	— 2,4
16. " " 0 h. a. m.	— 46,0	— 44,6	— 1,4
7. Febr. " 4 h. p. m.	— 41,9	— 40,2	— 1,7
15. " " 0 h.	— 45,7	— 43,4	— 2,3
16. " " 2 h. a. m.	— 47,7	— 43,4	— 4,3
14. März " 8 h. a. m.	— 43,9	— 44,6	+ 0,7 <sup>3)</sup>
15. " " 8 h. a. m.	— 46,4	— 46,0	— 0,4

1) SCHMID, Meteorologie.

2) Zeitschr. d. österr. Gesellsch. f. Meteorol. XII.

3) Hier wahrscheinlich die das Thermometer deckende Schneeschichte zu hoch.

Die in der Atmosphäre hervortretenden Schwankungen nach Tages- und Jahreszeiten, sowie auch nach grösseren, selbst säcularen Perioden, die zum grossen Theil durch die wechselnde Stellung der Erde zur Sonne bedingt sind, müssen selbstverständlich sich auch im Boden, speciell an der Bodenoberfläche etabliren; es verdient die Bodenoberfläche hierbei eine gesonderte Betrachtung, weil in ihr, wie bereits hervorgehoben, hauptsächlich die beiden Vorgänge der Strahlung und der Wärmeabsorption entsprechend der Wärmecapacität mitspielen, während in den tieferen Schichten die Strahlung eliminirt erscheint und statt dieser ein neuer Factor, das Wärmeleitungsvermögen, in dominirender Weise in Action tritt.

#### a) Tagesperiode der Temperatur der Bodenoberfläche.

Fassen wir zunächst den Ablauf der täglichen Schwankungen ins Auge, die Tagesperiode. WILD<sup>1)</sup> hat hierzu die Beobachtungen DOHRANDT's in Nukuss am Amu-Darja (Westsibirien) ( $42^{\circ} 27'$  N. B.,  $59^{\circ} 37'$  E. L. von Greenwich, 70 Meter hoch gelegen. Temperaturmittel: Januar — 7,1, April 9,4, Juli 25,5, Oct. 10,0, Jahr 9,4) und die von NEUMAYER in Melbourne<sup>2)</sup> ( $37^{\circ} 49'$  S. B.,  $144^{\circ} 59'$  E. L., 28 Meter Seehöhe. Temperaturmittel: Jan. 19,1, April 14,8, Juli 8,7, Oct. 13,8, Jahr 14,1) verwerthet. Es wurden in Nukuss durch  $11\frac{1}{2}$  Monate hindurch Tag und Nacht zweistündige Messungen der Temperaturen der obersten Bodenschichten 0,00, 0,05, 0,10 und 0,20 Meter, in Melbourne in der Tiefe von 0,00 Meter vorgenommen. Bei der Bestimmung der Bodentemperatur in der Bodenoberfläche (nicht zu verwechseln mit der an der Bodenoberfläche) lag das Thermometer horizontal auf der Erde, wobei sein Gefäss mit einer dünnen Lehmschicht bedeckt erhalten wurde. Der Boden in Nukuss bestand ganz gleichmässig aus trockenem, sandigem Lehm, in welchem man in einer Tiefe von 4,5 Metern auf Grundwasser stiess.

Die Nebeneinanderstellung dieser beiden Orte hat den Vortheil dass man hier je einen Repräsentanten des Landklimas (Nukuss) und des Seeklimas (Melbourne) vor sich hat, wie dies schon aus den beigegebenen Temperaturmitteln hervorgeht.

Was wir sofort aus den beiden auf S. 143 befindlichen Zahlenreihen erfahren, ist die Thatsache, dass in den obersten Bodenschichten, in der Bodenoberfläche die täglichen Varia-

1) WILD, Ueber die Bodentemperaturen in St. Petersburg und Nukuss. Repertorium f. Meteorologie. VI. 2) G. NEUMAYER, Discussion on the meteorological and magnetical observations, made at the flagstaff observatory Melbourne during the years 1858—1863. Mannheim 1867.

tionen ausserordentlich bedeutend sind, die der Luft (und auch der tieferen Bodenschichten) weit überragend. Der Betrag des täglichen Minimums der Lufttemperatur und der Bodenoberflächentemperatur ist wohl nahezu derselbe (5,38 und 5,16 in Nukuss, 10,84 und 10,75 in Melbourne), dagegen ist das Temperaturmaximum in Nukuss fast doppelt so gross als das der Luft, in Melbourne ca. ein- einhalbmal so gross. In Folge dessen sind auch die Amplituden, die Differenzen in den täglichen Temperaturschwankungen der Bodenoberfläche unter einander weit bedeutender (an  $2\frac{1}{2}$  mal so gross in Nukuss, doppelt so gross in Melbourne) als die der Luft unter einander.

Aus den Details der Beobachtungen geht sodann hervor, dass in der Tiefe von 0,00 Metern das Minimum der Bodentemperatur fast in allen Monaten genau mit dem Sonnenaufgange eintritt, also zur selben Zeit, wo auch die Temperatur der Luft ihr Minimum hat. Mit dem Aufgehen der Sonne, der Insolation muss aber die Temperatursteigerung im Boden beginnen, also das Mini-

Tagesperiode der Temperatur in Nukuss.

Tageszeit	1 h. a. m.	3	5	7	9	11	1 h. p. m.	3	5	7	9	11	Mittel
Lufttemperatur	6,86	6,01	5,38	7,60	11,81	14,99	16,69	17,13	15,52	12,12	9,48	8,03	10,97
Bodentemperatur in der Tiefe von 0,00 Metern	6,94	5,85	5,16	8,91	19,59	28,76	32,23	29,01	21,00	13,32	10,11	8,26	15,76
Differenz zwischen Luft- u. Bodentemperatur	0,08	-0,16	-0,22	1,31	7,78	13,77	15,54	11,88	5,48	1,20	0,63	0,23	4,79

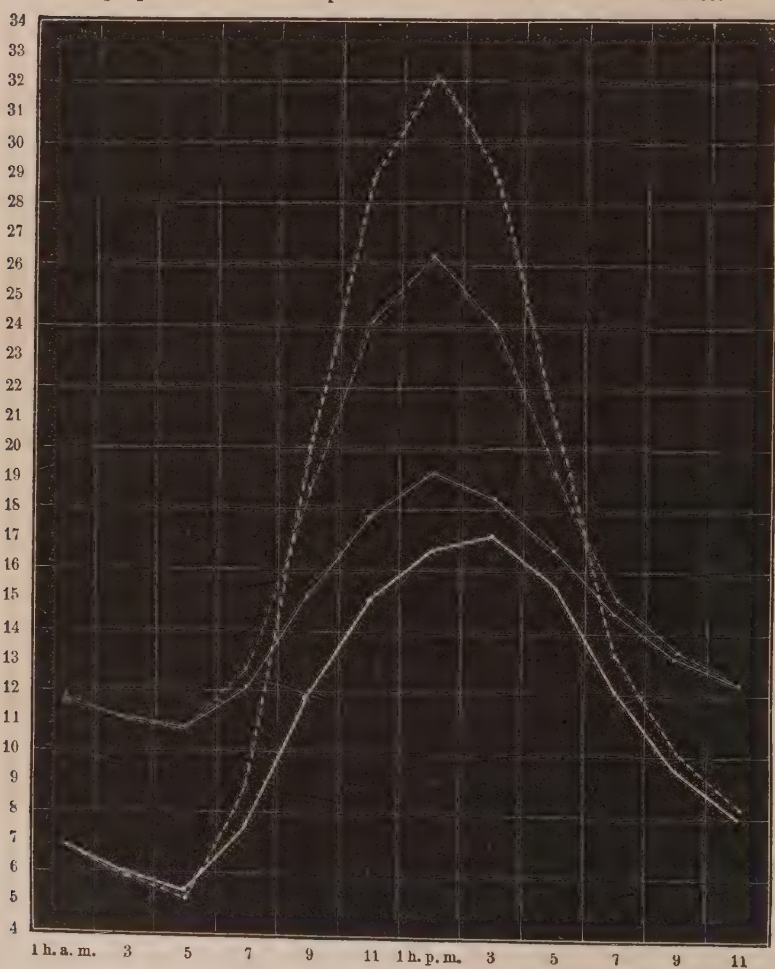
Tagesperiode der Temperatur in Melbourne.

Tageszeit	1 h. a. m.	3	5	7	9	11	1 h. p. m.	3	5	7	9	11	Mittel
Lufttemperatur	11,62	11,11	10,84	12,13	15,12	17,67	18,72	18,44	16,75	14,59	13,29	12,35	—
Bodentemperatur in der Tiefe von 0,00 Metern	11,68	11,04	10,75	12,74	18,56	24,13	26,32	24,14	19,21	15,03	13,41	12,40	—
Differenz zwischen Luft- u. Bodentemperatur	0,06	-0,07	-0,09	0,61	3,44	6,44	7,60	5,70	2,46	0,44	0,12	0,05	—

zum Maximum überschritten werden, das Maximum der Bodentemperatur fällt auf 1 h. p. m., also bedeutend früher, im Mittel um 1 Stunde

Fig. 5.

Tagesperiode der Temperatur in Nukuss und Melbourne.



- Lufttemperatur in Nukuss.
- - - - - Bodentemperatur in Nukuss in 0,00 Meter Tiefe.
- Lufttemperatur in Melbourne.
- - - - - Bodentemperatur in Melbourne in 0,00 Meter Tiefe.

früher, als dies in der Luft geschieht. Die Bodenoberfläche, die durch Strahlung so stark erwärmt wurde, deren Temperatur die der Luft so sehr übertrifft, wird dieser noch Wärme mittheilen können, wenn





der grossen Gleichmässigkeit des maritimen Klimas, viel weniger excessiv (vergl. S. 135).

#### b) Jahresperiode der Temperatur der Bodenoberfläche.

Die grossen Differenzen in den Temperaturverhältnissen des Bodens in 0,00 Meter und jenen der Luft treten auch bei Betrachtung der Jahresschwankungen zu Tage, besonders wenn man die jeweiligen monatlichen Minima und Maxima in den Vergleich stellt (s. S. 147).

Das Resultat dieses Vergleichs ist ganz analog dem bei der Tagesperiode angestellten, besonders soweit sich die Schwankungen in den Amplituden auszudrücken vermögen. Characteristisch ist wieder das wechselseitige Verhalten von Melbourne und Nukuss. Trotzdem, wie bemerkt, Melbourne in Folge seiner geographischen Lage auf der südlichen Hemisphäre und seines maritimen Klimas Temperaturverhältnisse besitzt, die denen von Nukuss (auf der nördlichen Hemisphäre und mit continentalem Klima) fast diametral entgegengesetzt sind — die Schwankungen in Melbourne sind viel geringer und bewegen sich in entgegengesetzter Reihenfolge —, ist doch das wechselseitige Verhältniss zwischen der Temperatur der obersten Bodenschicht und der der Luft in beiden Fällen fast identisch. In beiden Fällen sind die Minima der Temperatur für Boden und Luft unter einander fast vollkommen gleich und müssen also auch in dieselben Monate fallen (in Nukuss December, Januar, Februar, in Melbourne Juni, Juli, August). Dagegen sind die Unterschiede in den Zahlen für die Temperaturmaxima höchst bedeutend. Der Boden erreicht auch in dieser Periode in Nukuss eine bis  $2\frac{1}{2}$  mal so hohe Temperatur als die Luft, in Melbourne eine  $1\frac{1}{2}$  mal so hohe.

Einen ganz scharfen Ausdruck finden diese Verhältnisse in jener Zusammenstellung, die die Amplituden der Lufttemperatur mit denen der Bodentemperatur in Vergleich setzt (die dritte Reihe unserer Tabellen, Fig. 7). Sie zeigt, in welchem Maasse die strahlende Wärmeder Temperatur unseres Erdbodens zu gute kommt; auch hier tritt übrigens, so weit es sich um Nukuss handelt, in den Maximis der Lufttemperatur jene Verzögerung ein, die wir bereits bei den täglichen Schwankungen beobachtet haben. Während nämlich die Amplitudencurve in der Bodentemperatur nach erreichtem Maximum im September sofort rapid absinkt, erfolgt dieses Absinken bei der Amplitudencurve der Luft bis zum November viel allmählicher, um erst von da an einen etwas rascheren Verlauf anzunehmen.

## Jahresschwankungen der Luft- und Bodentemperatur in Nukuss.

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Mittel
Lufttemperatur	Minimum . . . .	- 5,85	- 10,60	8,09	12,22	13,60	19,39	16,01	11,52	0,49	- 0,39	- 2,24	5,38
	Maximum . . . .	+ 0,27	0,85	19,83	26,28	29,95	32,95	29,77	27,05	14,78	13,22	5,11	17,19
	Differenz (Amplitude)	6,12	11,45	11,77	14,07	16,44	13,63	13,76	15,53	14,29	13,61	7,35	11,82
Bodentemperatur in 00,0 Mt. Tiefe	Minimum . . . .	- 5,9	- 10,7	7,4	12,0	13,4	19,3	15,1	10,3	3,0	- 1,2	- 2,1	5,15
	Maximum . . . .	+ 7,2	11,7	29,6	44,2	53,7	57,1	54,9	50,1	35,8	17,6	9,3	32,25
	Differenz (Amplitude)	13,1	22,4	22,2	32,2	40,3	37,8	39,8	39,8	32,8	18,8	11,4	27,10

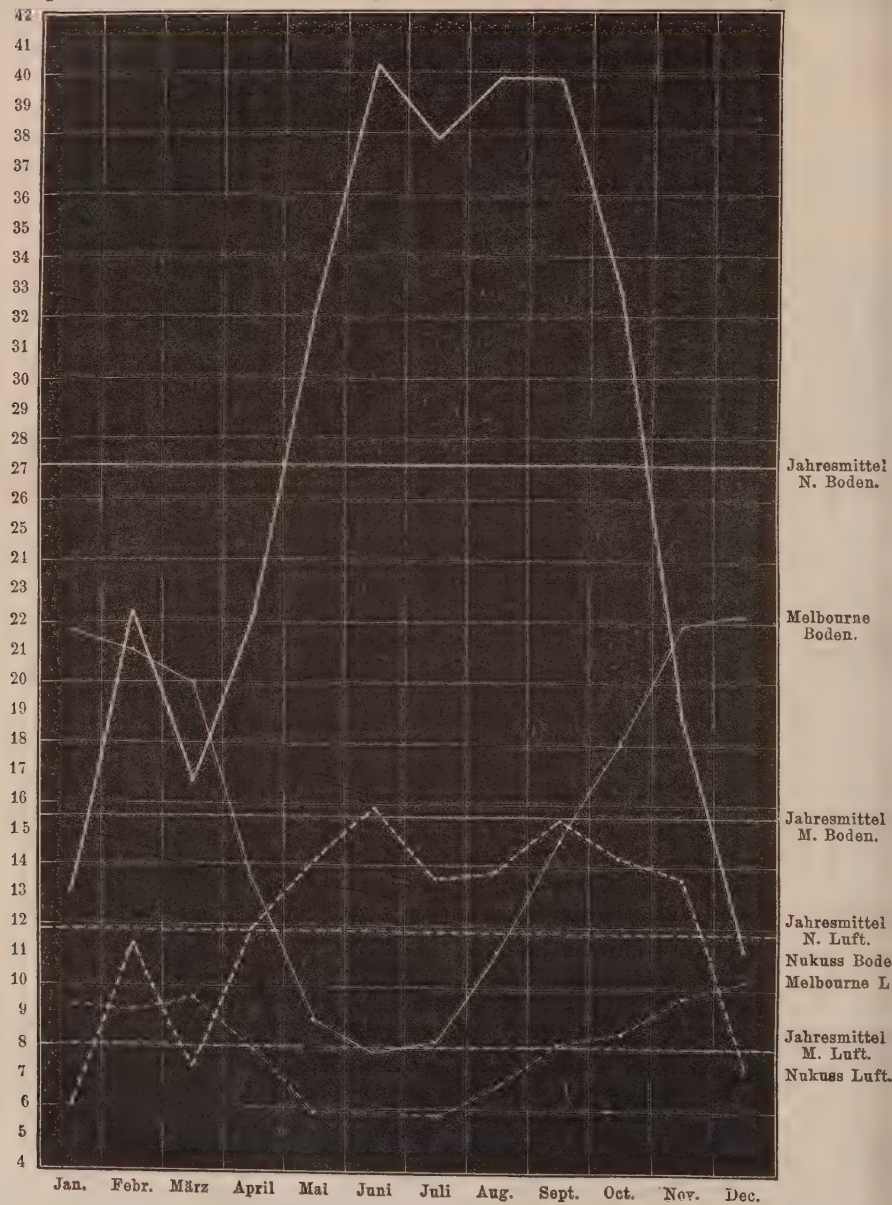
## Jahresschwankungen der Luft- und Bodentemperatur in Melbourne.

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jahr
Lufttemperatur im Schatten	Minimum . . . .	15,44	14,41	11,24	9,56	7,25	6,27	7,32	8,28	10,28	11,90	13,19	10,83
	Maximum . . . .	24,87	23,62	19,15	15,48	13,16	12,07	14,15	16,36	18,82	21,47	23,35	18,81
	Differenz (Amplitude)	9,43	9,21	7,91	5,92	5,91	5,80	6,83	8,08	8,54	9,57	10,16	7,98
Bodentemperatur in 0,00 Mt. Tiefe	Minimum . . . .	15,34	14,78	11,06	9,02	6,80	5,77	7,08	7,57	10,22	12,22	13,58	10,76
	Maximum . . . .	36,99	35,88	24,58	17,90	14,63	14,00	18,14	22,43	28,22	34,12	35,78	26,33
	Differenz (Amplitude)	21,65	21,10	13,52	8,88	7,83	8,23	11,08	14,86	18,00	21,90	22,20	15,57



Fig. 7.

Amplituden der Luft- u. Bodentemperaturen in Nukuss u. Melbourne. (Monatsmittel)



————— Amplitude der Bodentemperatur in Nukuss.  
 - - - - - " = Lufttemperatur = "  
 - - - - - " = Bodentemperatur = Melbourne.  
 - . - . - " = Lufttemperatur = "



*B) Erwärmung der tieferen Bodenschichten.*

Hygienisch kommt jedoch nicht blos die Bodenoberfläche und ihre Temperatur in Betracht, es ist wahrscheinlich, dass sich manche, hygienisch wichtige Vorgänge auch in einer bestimmten Bodentiefe abspielen, erfolgt ja auch die Bestattung der Leichen erst in einer bestimmten Tiefe. Die Temperatur dieser Bodenschichten hat aber wieder ihren besonderen Rhythmus, der weder mit dem der Bodenoberfläche noch mit dem der Luft übereinstimmt, und der hauptsächlich durch das jeweilige Wärmeleitungsvermögen des Bodens bedingt ist, wenn auch die Wärmecapacität hierbei noch ihren Einfluss geltend macht.

Das Wärmeleitungsvermögen, d. i. jene Eigenschaft, nach welcher in einem Körper, dessen verschiedene Theile verschiedene Temperaturen haben, Wärme von den heisseren Theilen nach den benachbarten kälteren abfließt, ist streng genommen ein doppeltes, ein inneres, auf den Körper selbst sich beziehendes, und ein äusseres, das aus der Wechselbeziehung zwischen Körper und Umgebung seinen Ursprung nimmt.

Als das Maass des inneren Leistungsvermögens betrachten wir jene Wärmemenge, welche in der Zeiteinheit durch die Flächeneinheit eines Körpers hindurchgeht, wenn zwei in der Entfernungseinheit von einander befindliche Querschnitte eine constante Temperaturdifferenz (von  $1^{\circ}\text{C.}$ ) haben.

Das äussere Wärmeleitungsvermögen bedeutet dagegen jene Wärmemenge, welche in der Zeiteinheit durch die Einheit der Oberfläche eines Körpers in ein Mittel übergeht, wenn der Körper und seine Umgebung eine constante Temperaturdifferenz von  $1^{\circ}$  haben.

Um eine Beurtheilung der Wärmewanderung nach der Tiefe hin zu ermöglichen und um wieder die Bedeutung der Porosität des Luft- und Wassergehalts zu illustrieren, sei hier das Wärmeleitungsvermögen einiger in die Zusammensetzung des Bodens eintretender Körper angeführt, und zwar die absolute Leitungsfähigkeit ( $k$ ), welche ausgedrückt wird durch jene Wärmeeinheiten (Calorigramme), welche in der Zeit von 1 Minute durch den Querschnitt von  $1\text{ cm.}$  hindurchgehen, vorausgesetzt, dass in einem um  $1\text{ cm.}$  vom ersten entfernten Querschnitte die Temperatur um  $1^{\circ}\text{C.}$  niedriger ist; und sodann die relative Leitungsfähigkeit bezogen auf die Wärmeleitungsfähigkeit  $a$ ) des Wassers als Einheit oder  $b$ ) der Luft als Einheit (s. die Tabelle auf folgender Seite).

LESS<sup>1)</sup> hat auch die relative Leitungsfähigkeit verschiedener

1) Poggend. Annal. Ergänzung. Bd. VIII. 1878.

Material	Absolute Leitungsfähigkeit	Relative Leitungsfähigkeit			
		A) Wasser <sup>1)</sup> = 1,000		B) Luft = 1,000	
Wasser .	0,00156—0,00124	1,000	1,000	26,530—21,088	
Eis . .	0,00573	3,673	4,621	97,449	
Luft . .	0,0000588	0,0376	0,0474	1,000	
Kupfer	0,4108—0,8190	263,333—525,000	331,290—660,483	6986,3—13928,5	
Eisen .	0,1469—0,1665	94,165—106,730	118,469—134,252	2498,3— 2831,6	
Blei . .	0,0716—0,0836	45,897— 53,589	57,742— 67,418	1217,6— 1421,7	

Bodenarten und Hölzer bestimmt, von dem Marmor als Einheit ausgehend. Er fand folgende Schwankungen:

Marmor . . . . .	1000—763	Serpentin . . . . .	676
Sächsischer Granit . . . .	804	Gneiss von Tharandt . . . .	673
Basalt, sehr compact . . . .	726	Tafelschiefer von Karlsbad . .	573
Sandstein, sehr feinkörnig . .	721	Sandstein, röthlich, sehr porös	487
Granit . . . . .	713	Thonschiefer . . . . .	469
Sandstein, sehr kreidehaltig	701	Sandstein mit Crobinement . .	420
Rother Gneiss . . . . .	696	Thon . . . . .	275
Nephelinbasalt . . . . .	690		

Leider fehlen die Zahlen für das absolute Leistungsvermögen, um diese Angaben mit der oberen Tabelle in Beziehung bringen zu können. Wir sehen aber schon, dass die Schwankungen im trockenen Boden keine allzugrossen sind, da sie nicht über das 3,5fache hinausgehen.

Höchst wichtige Gesichtspunkte eröffnet aber wieder das Verhalten der Leitungsfähigkeit des Wassers zu der der Luft. Das Wasser leitet die Wärme 21—26 mal besser als die Luft. Daraus geht nun wieder hervor, wie sehr in einem porösen Boden die Wärmeleitungsfähigkeit durch die Anwesenheit des Wassers überhaupt und durch dessen quantitativen Verhältnisse beeinflusst werden wird.

Dieser Umstand wird für das Eindringen der Oberflächentemperaturen in der Tiefe seine grosse Bedeutung haben.

Wir haben es nämlich in unserer Tabelle mit Bodenarten zu thun, die in Form von compacten Fragmenten untersucht worden waren. In der Natur bestehen jedoch gerade die obersten Bodenschichten aus kleinen, vielfach durch Hohlräume getrennten Partikeln. Es handelt sich da um einen porösen, von Luft erfüllten Boden. Dadurch nun, dass in die Zusammensetzung des Bodens ein Körper

1) Entsprechend den beiden extremen Werthen für Wasser (0,00156 LUNDQUIST und 0,00124 WEBER), die als Vergleichsobject dienen, erhalten wir hier eine Doppeltabelle.

mit einem so ausserordentlich geringen Wärmeleitungsvermögen eintritt, muss sich die Leitung der gesammten Bodenmasse wesentlich vermindern.

Wir finden hierfür einen Beleg in den Zahlen, die PECKET für das Wärmeleitungsvermögen von Körpern gefunden hat, die er in pulverförmigem Zustande untersucht hat, sowie von Körpern, die an und für sich ausserordentlich porös sind.

Wenn auch die von ihm gefundenen Werthe für das absolute Leitungsvermögen, wie spätere Untersuchungen gelehrt haben, nicht als richtig angesehen werden können, so ist doch ein Vergleich derselben untereinander zulässig.

PECKET <sup>1)</sup> fand für nicht homogene Körper folgende Werthe:

Marmor . . . .	3,130	(100)	Kreidepulver . . . .	0,094	(3,0)
Kalkstein . . . .	1,823	(58,2)	Holzasche . . . .	0,066	(2,1)
Gyps . . . .	0,430	(13,7)	Baumwolle . . . .	0,040	(1,2)
Gebrannte Erde . .	0,600	(19,1)	Wolle . . . .	0,044	(1,3)
Quarzsand . . . .	0,270	(8,6)	Flaum . . . .	0,039	(1,2)
Gestossener Ziegel <sup>2)</sup>	0,152	(4,8)	Leinenzeug . . . .	0,052	(1,6)

Je lufthaltiger das Material ist, desto geringer ist dessen Wärmeleitungsvermögen. Sind ja doch die einzelnen Partikel des Bodens allenthalben von Luftschichten umgeben, die förmlich als Isolatoren wirken müssen. Auch aus den Untersuchungen PORT's <sup>3)</sup> geht hervor, dass lockerer Boden die Wärme weniger gut leitet als fester, und dass lufttrockene Materialien mit der Abnahme ihres Feinheitsgehaltes oder mit dem grösseren Gehalt an compacten Steinen eine Zunahme ihrer Wärmeleitungsfähigkeit erfahren. Die Folgen dieser grösseren Leitungsfähigkeit des dichteren, trockenen Bodens gegenüber dem lockeren, trockenen äussern sich in durchschnittlich höherer Temperatur, die ersterer während der wärmeren Jahreszeit und bei warmer Witterung annimmt, andererseits in der grösseren Abkühlung desselben während der kälteren Jahreszeit und bei plötzlich starker Temperaturveränderung. Die Temperaturschwankungen werden also in trockenem, dichten Boden rascher weiter geleitet werden und einen höheren Grad erreichen, als in trockenem, lockeren, besonders da sich durch die verschieden dichte Lagerung die Wärmecapacität nicht bedeutend ändert.

1) *Traité de la chaleur*. II. éd.

2) DESPRETZ hat für Ziegelsteine in toto das relative Leitungsvermögen bestimmt. Wenn wir dessen Versuchsergebnisse mit denen von PECKET vergleichen dürfen, so ist, das Wärmeleitungsvermögen des Marmors = 100 gesetzt, das des Ziegelsteins = 48,3, also 10 mal so gross, als das der gestossenen Ziegel.

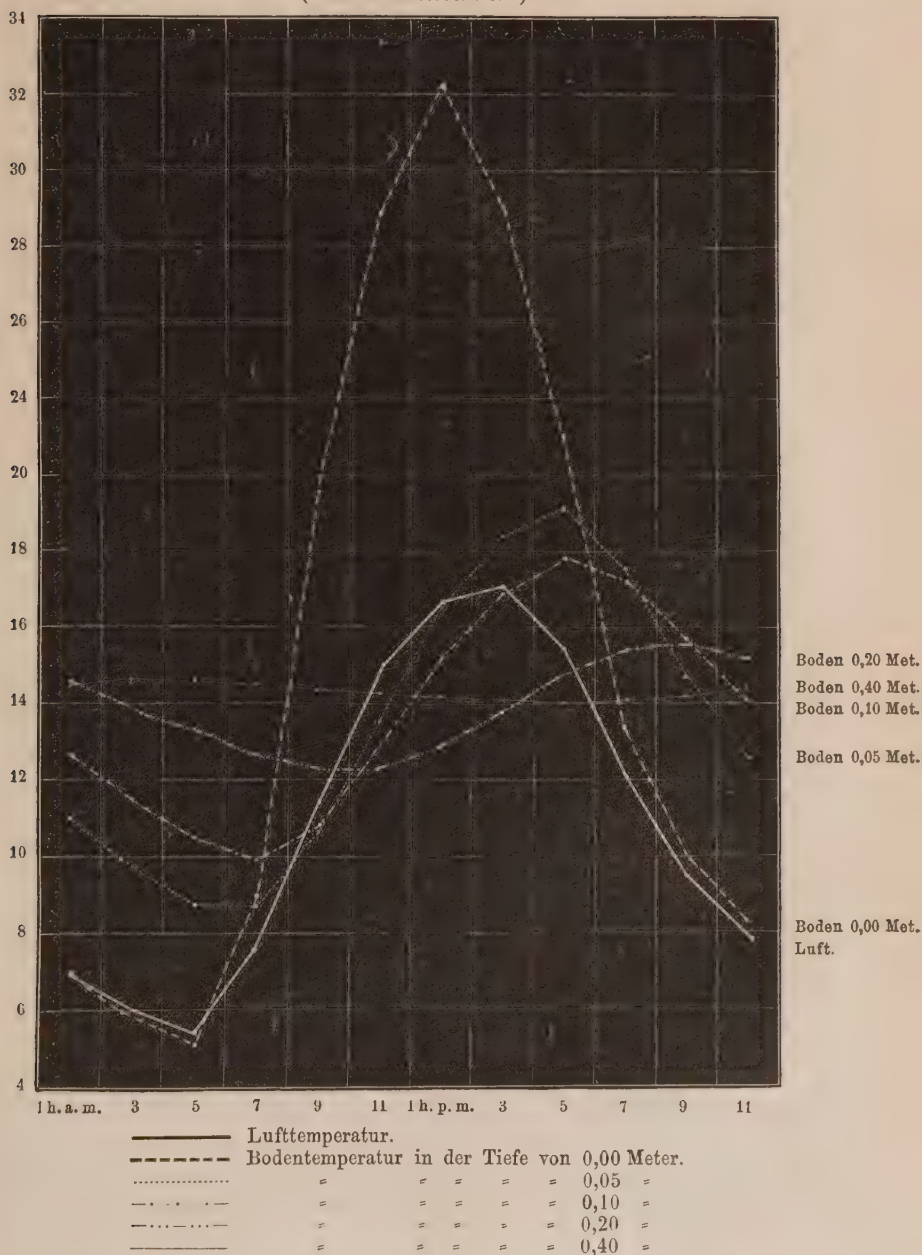
3) E. PORT, Landwirthschaftl. Versuchsstationen. XX.





Fig. 8.

Tägliche Periode der Luft- und Bodentemperatur in Nukuss 1874/75.  
(Jahresdurchschnitt.)



bung der Temperaturcurven eintritt. Das Maximum der Oscillationen, die Amplitude, sinkt von 27,07° (0,00 Mt.) auf 10,39 (0,05 Met.), 7,81 (0,10 Met.), 3,25 (0,20 Met.) und 0,59° (0,4 Met.). Die Eintrittszeit des Minimums verschiebt sich von 5 h. Morgens (0,00 Met.) auf 7 h. (0,05 u. 0,10 Met.), 9 h. (0,2 Met.) und bei 0,04 Met. gar auf 5 h. Nachm. Das Maximum wandert von 1 h. Nachm. (0,00 Met.) auf 5 h. (0,05 u. 0,10 Met.), 9 h. (0,20 Met.) und 3 h. Morgens (0,40 Met.).

Nukuss, Monatsmittel der Temperatur des Erdbodens.

b) Jahresperiode der Temperatur der tieferen Bodenschichten.

Aehnliche Erfahrungen machen wir, wenn wir die Jahresperiode, wie sie durch Aneinanderreihung der Monatsmittel gewonnen wird, in Betracht ziehen.

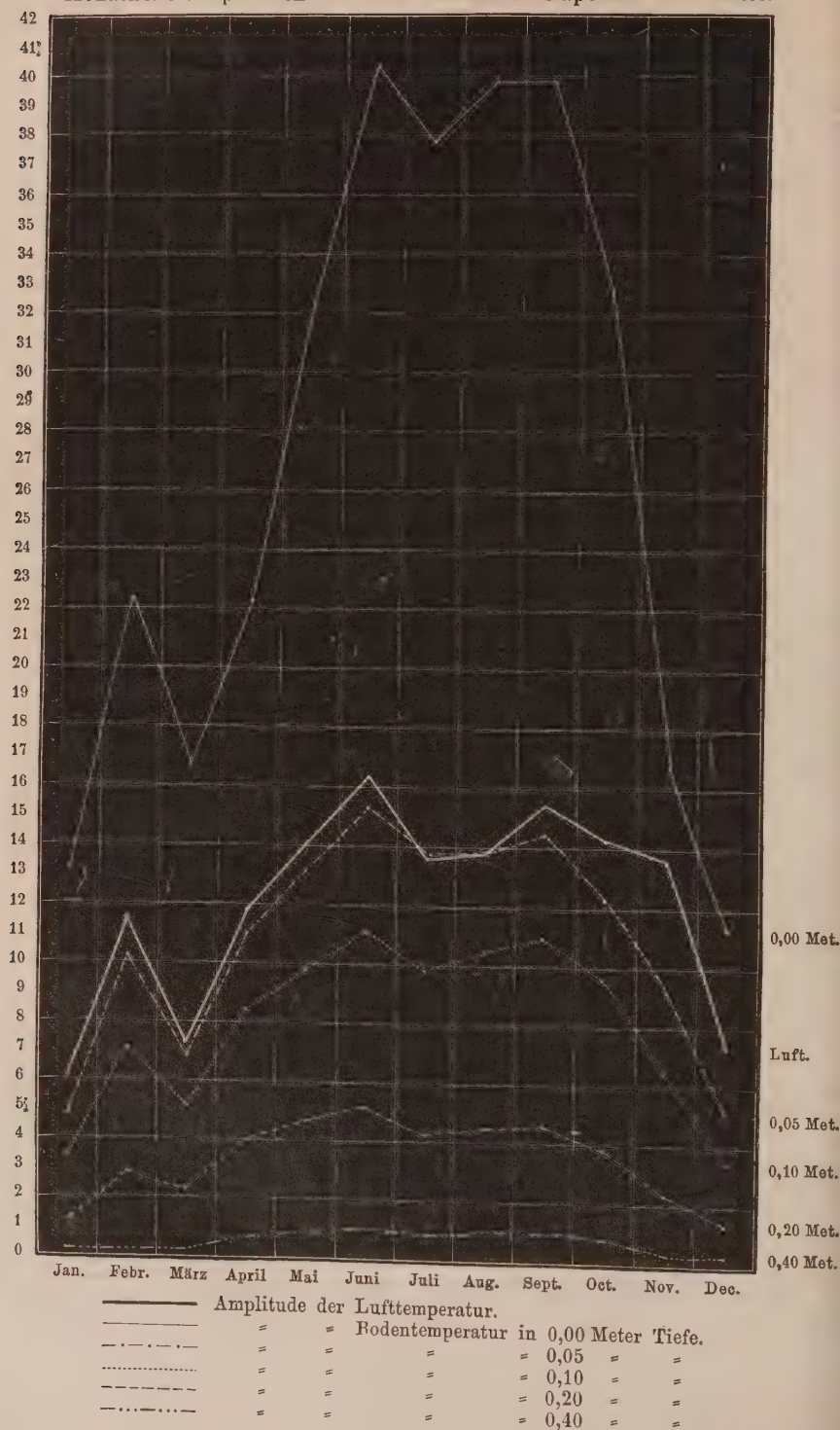
Die Beobachtungen in Nukuss erstrecken sich bezüglich der Jahresperiode bis zu einer Tiefe von 4 Met.

Die mittlere Jahrestemperatur und auch die meisten mittleren Monatstemperaturen des Bodens bis zu einer gewissen Tiefe sind höher als die der freien Luft darüber, abermals ein Beleg, dass die Erwärmung der Luft in viel beträchtlicherem Maasse durch Mittheilung von der Erde aus, durch directe Absorption der Sonnenstrahlen erfolgt, dass ferner bei dem Erdboden die Wirkung der Einstrahlung resp. Absorption die der Ausstrahlung überwiegt, und dass eine daraus zu folgernde fortgesetzte Steigerung der Temperatur des Erdbodens nur

Lufttemperatur Bodentemperatur in 0,00 Mt. Tiefe 1875	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jahr	Ampli- tude
=	6,44	4,33	5,37	15,01	20,66	23,70	26,84	24,05	19,72	10,53	1,69	-4,60	11,01	33,28
=	1,69	2,70	5,30	16,76	25,35	30,50	34,71	31,66	25,83	15,81	8,28	-1,05	15,73	37,41
=	3,95	2,25	6,78	15,78	22,86	26,86	29,94	27,18	21,85	12,31	3,33	-2,63	13,17	33,59
=	2,59	1,79	6,63	15,19	22,25	26,04	29,36	27,19	22,33	13,41	4,62	-0,89	13,48	31,95
=	0,40	0,35	6,69	14,81	21,84	25,84	29,31	27,72	23,45	16,02	7,50	-2,16	14,56	29,53
=	0,80	2,90	6,75	12,72	15,88	22,69	26,29	26,27	23,46	18,59	12,02	7,18	15,18	23,39
=	4,43	7,48	7,79	10,50	14,48	17,15	20,83	22,44	21,91	19,77	15,96	12,02	15,05	14,96
=	1,60	11,75	10,78	10,97	12,20	13,88	15,63	17,20	18,02	18,01	16,96	15,12	14,49	7,24
=	2,80	13,31	12,55	12,03	12,15	12,81	13,08	14,64	15,45	15,93	15,93	15,36	14,03	3,30
=	4,00	14,37	13,46	12,03	12,15	12,81	13,08	14,64	15,45	15,93	15,93	15,36	14,03	3,30

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jahr
Minima	Luft . . . . .	- 5,85	- 10,60	8,09	12,22	13,60	19,39	16,01	11,52	9,49	- 0,39	- 2,24	5,38
	Bodentiefe 0,00 Meter	- 5,9	- 10,7	7,4	12,0	13,4	19,3	15,1	10,3	3,0	- 1,2	- 2,1	5,15
	= 0,05 =	- 3,8	8,0	9,8	15,8	18,1	23,3	20,3	14,5	7,1	1,8	- 0,3	8,5
	= 0,10 =	- 2,8	6,4	10,7	17,5	20,2	25,0	21,8	16,6	8,9	3,2	0,8	9,85
	= 0,20 =	- 0,82	3,70	12,25	19,65	22,96	27,12	24,80	20,00	12,42	5,75	2,80	12,24
	= 0,40 =	1,42	- 0,90	12,74	20,67	25,35	29,07	27,39	22,88	12,51	8,11	5,10	14,06
Maxima	Luft . . . . .	+ 0,27	0,85	6,72	19,83	26,28	32,95	29,77	27,05	14,76	13,22	5,11	17,19
	Bodentiefe 0,00 Meter	7,2	11,7	16,0	29,6	44,2	57,1	54,9	50,1	35,8	17,6	9,3	32,25
	= 0,05 =	1,0	2,2	8,3	20,8	28,9	37,1	34,1	29,0	20,0	11,0	4,8	19,15
	= 0,10 =	0,6	0,7	7,3	19,1	27,3	34,8	32,3	27,6	18,5	9,7	4,2	17,8
	= 0,20 =	0,34	- 0,93	5,75	16,24	24,23	31,44	29,27	24,64	16,27	8,12	4,18	15,62
	= 0,40 =	1,59	- 0,73	4,49	13,33	21,60	29,95	28,37	23,84	13,26	8,50	5,37	14,66
Amplitude (Differenz)	Luft . . . . .	6,12	11,45	7,28	11,77	14,07	13,63	13,76	15,53	14,29	13,61	7,35	11,82
	Bodentiefe 0,00 Meter	13,1	22,4	16,7	22,2	32,2	37,8	39,8	39,8	32,8	18,8	11,4	27,1
	= 0,05 =	4,8	10,2	6,9	11,0	13,1	15,3	13,8	14,5	12,9	9,2	5,1	10,65
	= 0,10 =	3,4	7,1	5,1	8,4	9,8	11,1	10,5	11,0	9,6	6,5	3,4	7,95
	= 0,20 =	1,16	2,77	2,39	3,99	4,58	4,32	4,47	4,64	3,85	2,37	1,38	3,38
	= 0,40 =	0,17	0,17	0,20	0,59	0,93	0,88	0,98	0,96	0,75	0,39	0,27	0,60

## Monatliche Amplituden der Luft- und Bodentemperatur in Nukuss.





durch jene Mittheilung von Wärme an die kühlere Luft darüber aufgehoben wird.

Sodann sehen wir aber bei Betrachtung der letzten Vertical-column, dass die Grösse der Temperaturschwankungen gegen die Tiefe zu stetig abnimmt; in diesem Falle von  $37,41^{\circ}$  bei 0,00 Meter Tiefe bis zu  $3,90^{\circ}$  bei 4 Meter Tiefe, also um das 9fache.

Wir können diese, mit der Zunahme der Tiefe einhergehende Verminderung der Temperaturschwankungen auch nach Monaten zum Ausdruck bringen, wenn wir die jeweiligen Maxima und Minima der Monate zu einander in Beziehung bringen, mit einander vergleichen (s. S. 155) und den so gewonnenen Amplituden eine graphische Darstellung geben (Fig. 9); die Verflachung der Curven mit der Zunahme der Tiefe gibt ein anschauliches Bild über die Verminderung der Schwankungen, das der Erläuterungen nicht bedarf.

### c) Das Fortschreiten der Wärme gegen die Tiefe.

WILD hat aus diesen Beobachtungen auch die Ableitung des Gesetzes, nach welchem die Leitung der Wärme nach abwärts erfolgt, vorgenommen. Es sei hier wenigstens theilweise darauf eingegangen, da sich aus diesen Erörterungen und Schlussfolgerungen manche für die Hygiene verwerthbare Momente ergeben.

#### *α) Fortschreiten der Schwankungen der Tagesperiode.*

Die Temperatur erfährt auf ihrem Gange von der Oberfläche in die Tiefe eine Verzögerung. Diese Verzögerung lässt sich am leichtesten bestimmen aus dem Zeitpunkte, in welchem in der betreffenden Bodenschicht das Minimum resp. Maximum der Bodentemperatur auftritt. Diese Differenzen und Eintrittszeiten waren bei den zweistündlichen Beobachtungen in Nukuss bis zur Tiefe von 0,2 Meter folgende (wie auf S. 158 angegeben).

Aus den Zahlen der jeweiligen letzten Columnen, wo die Verzögerungen der Eintrittszeiten in dem ganzen Intervall von der Oberfläche bis zu 0,2 Meter Tiefe aufgeführt sind, und den entsprechenden Curven (Fig. 10), ergibt sich für die Minima unter einander und ebenso auch für die Maxima eine von den kälteren Monaten zu den wärmeren ziemlich regelmässig anwachsende und dann wieder abnehmende Verzögerung nach der Tiefe hin. Die stärkere Verzögerung des Eintritts der Extreme während des Sommers bis zu 5 Stunden und 20 Minuten ist unstreitig die Folge des Umstandes, dass die warmen und trockenen Bodenarten die Wärme schlechter leiten als die kalten und feuchten (vergl. S. 151).

## Differenzen der Eintrittszeiten:

Col. 1	2 3 4 5 der Minima				6 7 8 9 der Maxima			
In Decimetern	Luft u. 0,0	0,0—1,0	1,0—2,0	0,0—2,0	Luft u. 0,0	0,0—1,0	1,0—2,0	0,0—2,0
	h. m.	h. m.	h. m.	h. m.	h. m.	h. m.	h. m.	h. m.
Januar . . .	— 0 30	2 25	2 5	4 30	— 1 10	3 55	2 55	6 50
Februar . . .	— 0 25	2 25	1 35	4 0	— 2	4 0	3 5	7 0
März . . .	— 0 10	2 10	2 15	4 25	— 1 55	4 20	2 40	7 0
April . . .	— 0 50	2 15	2 20	4 35	— 2	4 20	2 50	7 10
Mai . . .	— 0 10	1 40	3 5	4 45	— 1 25	4 40	3 5	7 45
Juni . . .	— 0 50	2 5	3 10	5 15	— 1 25	5 15	2 25	7 50
Juli . . .	— 0 00	1 55	3 25	5 20	— 1 20	4 55	2 40	7 35
August . . .	— 0 5	1 55	2 55	4 50	— 1 20	4 55	2 30	7 25
September . .	— 0 26	2 5	2 30	4 25	— 1 20	4 20	2 45	7 5
October . . .	— 0 10	1 45	2 0	3 45	— 1 40	4 20	2 50	7 0
November . . .	— 0 00	1 50	1 20	3 10	— 1 35	4 20	2 15	6 35
December . . .	— 0 00	0 10	1 45	3 55	— 1 5	3 45	3 0	6 45
Jahr . . .	— 0 5	2 20	2 45	5 5	— 1 25	4 15	2 45	7 0
Mittel d. Monate	—	2 3	2 22	4 25	—	4 26	2 45	7 10

Es scheint ferner das Wärmeleitungsvermögen im Boden bei absolut höheren Temperaturen mit wachsender Temperatur auch noch rascher abzunehmen als bei niedrigen. Während nämlich in der unteren Schicht von 1—2 Decimeter die Verschiebung der Maxima (-----) und Minima (-----) im Mittel aller Monate nahezu gleich ist unter einander (2,22 und 2,45, Columnne 4 und 8 der obenstehenden Tabelle), sind in der oberen Schicht, wo die Maxima durch eine um etwa 15° C. wärmere Erdschicht fortgeleitet werden als zu der Zeit, wo die Minima in ihr fortschreiten, viel bedeutendere Differenzen der Verspätungen der Maxima und Minima vorhanden (2,3 gegen 4,26 als Mittelwerthe, Col. 3 und 7). Bei einfacher Proportionalität zur Temperatur müsste bei der ungefähr gleichen Schwankung der Temperatur vom Mittel aus nach beiden Seiten hin, weil diese Mittel selbst in den verschiedenen Bodenschichten im Jahresdurchschnitt nicht beträchtlich verschieden sind, die Verschiebung des Maximum gegenüber derjenigen in den tieferen Schichten um nahezu ebenso viel geringer sein, als das Maximum grösser erscheint.

Fassen wir aber noch die beiden Schichten 0,0—1,0 Decimeter und 1,0—2,0 Decimeter (Columnne 5 und 6) gesondert ins Auge (Fig. 11). Die Schlussfolgerungen, zu denen WILD hier gelangt, können vielleicht ein besonderes hygienisches Interesse erlangen.

Nach einzelnen Monaten verglichen, ist in den Schichten von 1—2 Decimeter bei den Maximis eine constante Verschiebung um 2 h. 45 m. das ganze Jahr hindurch, so dass also die für das ganze Intervall von 0—2 Decimeter constatirten grösseren Verzögerungen der Maxima (7,0 im Jahresmittel) (Fig. 11 S. 160) im Sommer allein auf die obere Hälfte derselben von 0—1 Decimeter Tiefe fallen müssen. Für die Ein-









hin anfänglich sehr rasch, später langsamer abnehmend sich herausstellen. Erst von 2—3 Decimeter Tiefe an abwärts dürfte (für Nukuss) eine für die Maxima und Minima gleiche, der Tiefe proportionale Verzögerung ihrer Eintrittszeiten von ungefähr  $2\frac{1}{2}$  Stunden pro Decimeter eintreten, die sich mathematisch ableiten lässt (vergl. S. 163), während in den obersten Bodenschichten, wie aus den oben citirten Untersuchungen WILD's hervorgeht, eine Reihe von Störungen, wie Niederschläge, Luftströmungen in den Zwischenräumen, alsdann auch die Variation des Leitungsvermögens mit der Temperatur eine bedeutende Rolle spielen.

Auf diese Weise lässt sich also, wenn eine genügende Anzahl von Beobachtungen vorliegt, auch die Grenze bestimmen, in welcher die Tagesschwankungen aufhören, resp. gleich  $0,01^{\circ}$  werden, also der Einfluss der täglichen Periode bereits unmerklich ist.

Für Nukuss fand WILD diese Grenze in der Tiefe von 0,81 Meter; für Brüssel QUETELET 0,3—1,46 Meter.

*β) Fortschreiten der Schwankungen der Jahresperiode.*

Auch die jährliche Periode der Bodentemperatur folgt ähnlichen Gesetzen, und ist ihr Gang für uns vom hygienischen Standpunkte sehr wichtig, da wir wissen wollen, wie tief der Einfluss der Jahreszeiten im Boden sich geltend macht und in welcher Weise er nach Intensität und Zeitfolge abgeschwächt wird.

Es liegt eine grosse Reihe von langjährigen Temperaturbeobachtungen an verschiedenen Bodentiefen vor (vgl. die Tabelle auf S. 165). Berlin, Bern, Brüssel, Buda-Pest, Edinburgh, Greenwich, Heidelberg, Königsberg, Leipzig, München, Paris, Peking, Petersburg, Schwerin, Stockholm, Upsala u. s. w.

Die Beobachtungen der beiden Becquerel <sup>1)</sup> (mittelst elektrischer Thermometer) erstrecken sich bis zur Tiefe von 36 Metern. Nach einem Durchschnitt von 10 Jahren ergaben sich je nach der Tiefe folgende Jahresmittel:

Tiefe	10 jähriges Mittel	Bodenbeschaffenheit
1 Meter	11,31 <sup>0</sup>	Sandboden (Terre sableuse de remblai)
6 "	11,94	"
11 "	11,96	Mergel
16 "	12,01	Kalkboden (bei 15 Metern eine wasserführende Schicht)
21 "	12,09	"
26 "	12,37	Plastischer Thon (wasserführende Schicht bei 24 Met.)
31 "	12,31	" "
36 "	12,42	" "

1) Compt. rend. LXXXII.

Aus den einzelnen Beobachtungen geht hervor, dass in der Tiefe von 1 Meter die Schwankungen zwischen Winter und Herbst ungefähr  $7^{\circ}$  betragen; bei 6 Meter, wo die tiefste Temperatur im Frühjahr eintritt, ist die Amplitude 1,07; bei 31 Meter nur 0,04; bei 36 Meter ist die Temperatur constant.

In den Kellern des Observatorium von Paris befindet sich in einer Tiefe von 28 Meter ein Thermometer, von dem schon MARIOTTE nachwies, dass seine Schwankungen in der Zeit vom December 1670 bis September 1672 kaum bemerkbar gewesen sind. — In den Jahren 1817—1834 betrugen die Schwankungen nach BOUVARD <sup>1)</sup>:

	1817	1818	1819	1820	1821	1822	1823	1824	1825
Maximum . . .	11,779 <sup>o</sup>	11,774	11,774	11,814	11,814	11,814	11,849	11,884	11,849
Minimum . . .	11,675	11,675	11,710	11,710	11,744	11,779	11,779	11,744	11,779
Differenz (Amplitude) }	0,104	0,089	0,064	0,104	0,070	0,035	0,070	0,140	0,070
	1826	1827	1828	1829	1830	1831	1832	1833	1834
Maximum . . .	11,849 <sup>o</sup>	11,884	11,919	11,989	11,971	11,982	11,982	11,971	11,971
Minimum . . .	11,779	11,814	11,849	11,919	11,919	11,954	11,954	11,936	11,954
Differenz (Amplitude) }	0,070	0,070	0,070	0,070	0,052	0,028	0,028	0,035	0,016

Wir müssen also in einer bestimmten Tiefe zu einem Punkt gelangen, wo überhaupt die Temperatur des Bodens constant bleibt und weder Tages- noch Jahresschwankungen zeigt, — in die Zone der sogenannten invariablen Erdschicht. — Selbstverständlich ist die obere Grenze der invariablen Erdschicht für die verschiedenen Gegenden und Orte in verschiedenen Tiefen gelegen. Ihre Lage resp. Tiefe hängt ab von den Differenzen der maximalen und minimalen Jahrestemperaturen für jeden Ort und von der Beschaffenheit und vorzüglich von der Wärmeleitungsfähigkeit des Bodens. Die Temperatur der obersten Grenzschicht dieser invariablen Zone wird der mittleren Jahrestemperatur entsprechen müssen.

Die Abnahme der durch die Jahreszeiten hervorgerufenen Temperaturschwankungen würde regelmässig sein und einer geometrischen Progression (gegenüber der arithmetischen Reihe der Tiefenzunahme) entsprechen, wenn der Boden homogen wäre. Da aber verschiedene Bodenschichten verschiedenartig die Wärme leiten, da ausserdem das Regenwasser und das Grundwasser die Temperatur der Bodenschichten beeinflussen, so ist dies nicht möglich.

1) SCHMID, Meteorologie.

Die Geschwindigkeit, mit der sich die Wärme nach der Tiefe hin fortpflanzt, ist der Leitungsfähigkeit des Bodens ( $k$ ) direct proportional, die Wärmecapacität ( $c$ ) und Dichtigkeit ( $d$ ) umgekehrt proportional, das Verhältniss beider Grössen  $\frac{k}{cd}$  führt zur Aufstellung einer Constanten  $K$  für die jeweilig untersuchte Bodenbeschaffenheit, die einmal auf Grundlage der Wärmeleitung und Wärmecapacität bestimmt, sodann aber auch aus der Abnahme der Bodentemperatur mit der Tiefe auf mathematischem Wege gewonnen werden kann.

Diese Grösse  $k$  beträgt nach directen Bestimmungen <sup>1)</sup>:

für Luft . . . . .	15,6	(STEFAN)
„ Eisen . . . . .	10,5	(ANGSTRÖM)
„ Sandstein . . . . .	0,800	(NEUMANN)
„ Eis . . . . .	0,67	„
„ grobkörnigen Granit .	0,645	„
„ gefrorenen Boden . .	0,540	„
„ Serpentin . . . . .	0,35	„
„ Schnee . . . . .	0,21	„
„ Glas . . . . .	0,20	(STEFAN)
„ Wasser . . . . .	0,090	(LUNDQUIST und WINKELMANN)
„ Steinkohle . . . . .	0,068	(NEUMANN)
„ Hartgummi . . . . .	0,056	(STEFAN).

Es sind die Gesetze, nach welchen sich die Jahresschwankungen in der Tiefe fortpflanzen und abschwächen, von FORBES, QUETELET und WILD untersucht worden.

An der Hand dieser Forschungen zeigt nun WILD:

Die Weite der jährlichen Schwankung und ihre Abnahme mit der Tiefe wird am einfachsten durch die POISSON'sche Formel  $\log \Delta p = A - Bp$  ausgedrückt.

Hierbei bedeutet  $\Delta$  die der Tiefe  $p$  entsprechende jährl. Schwankung.

$A = \log \Delta_0$  stellt den Logarithmus der für  $p = 0$ , d. h. für die an der Oberfläche stattfindende Temperaturamplitude in der Tiefe  $p = 1$  zu der an der Oberfläche dar.

Die Verschiedenheit dieser Grössen hängt vorzüglich von der Verschiedenheit des Bodens ab, wie dies besonders aus den Beobachtungen von FORBES in Edinburg hervorgeht.

Nach dieser Formel berechnet WILD die Tiefe, in welcher die Amplitude eine bestimmte Grösse erreicht:

für Petersburg:

für die Amplitude von 1,0 <sup>0</sup> eine Tiefe von 9,14 Metern	
„ „ „ „ 0,1 „ „ „ 15,65 „	
„ „ „ „ 0,01 „ „ „ 22,2 „	

für Nukuss:

für die Amplitude von 1,0 <sup>0</sup> eine Tiefe von 6,45 Metern	
„ „ „ „ 0,1 „ „ „ 10,55 „	
„ „ „ „ 0,01 „ „ „ 14,6 „	

1) WILD l. c.

so dass also in St. Petersburg in ca. 22 Meter Tiefe, in Nukuss in ca. 15 Meter die jährliche Variation der Temperatur als verschwindend zu betrachten wäre.

WILD (l. c.) gibt eine Zusammenstellung einer grossen Reihe von Erdtemperaturbeobachtungen, wobei die Orte nach ihrer geographischen Lage geordnet sind und in welcher nach der Formel von POISSON auch jene Tiefe  $p_0$  (Col. 14 der Tabelle auf folgender Seite) berechnet ist, wo die jährliche Temperaturoscillation verschwindet, resp.  $0,01^0$  erreicht. Gleichzeitig ist in der mit  $k$  überschriebenen Col. 15 die sogenannte Wärmeconstante des Bodens gegeben, d. i. das Leitungsvermögen der Erde, dividirt durch das Product aus der specifischen Wärme und Dichte.  $t$  (Col. 16) bezeichnet sodann die mittlere Jahrestemperatur der Erdschichten, auf welche sich  $k$  bezieht;  $z$  (Col. 17) die Zahl der Beobachtungsjahre am betreffenden Ort;  $\Delta_0$  (Col. 19 u. 20) die Differenz der Extreme der jährlichen Periode an der Erdoberfläche und zwar in Col. 19 die nach der Poisson'schen Formel berechnete, und in der folgenden Spalte (20) die wirklich beobachtete, oder in Ermangelung dessen auch wohl die Jahresamplitude der Lufttemperatur, was durch ein beigesetztes  $L$  angedeutet ist.

Die Col. 2—11 geben die in verschiedenen ungefähren Tiefen beobachteten Jahresmittel der Temperatur im Vergleich mit der Lufttemperatur in der ersten Columnne.

An der Hand dieser Tabelle, sowie auf Grund mathematischer Berechnungen weist nun WILD nach, dass die grössere oder geringere Tiefe des Bodens, in welcher die jährliche Temperaturschwankung der Oberfläche um denselben Bruchtheil vermindert erscheint, im Wesentlichen bloss von der Beschaffenheit des Bodens und seiner Temperatur, nicht aber von der geographischen Breite des Ortes abhängt. Deshalb bestreitet auch WILD die Richtigkeit der Angabe BOUSSINGAULT's, nach welcher in der Nähe des Aequators unter einem Dache die tägliche wie jährliche Temperaturschwankung schon in  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$  Meter Tiefe verschwinde. Es könnte dies nur mit Rücksicht auf die Abnahme der Grösse der äusseren, der oberflächlichen Temperaturschwankung sein; da nun kaum an einem Orte die jährliche Temperaturschwankung geringer als  $1,5^0$  C. ist, so ergibt die Berechnung (S. 163), dass die Tiefe, in welcher die Temperaturoscillation sogar noch  $0,1^0$  C. beträgt, noch bei 5 Metern zu suchen ist; und diese Tiefe vermindert sich nur zu 3,4 Metern, wenn obige Amplitude von  $1,5^0$  C. bloss als eine halbjährige betrachtet wird, wie dies unter den Tropen der Fall sein könnte.

Da die obere Zone der constanten Temperatur des Bodens die mittlere Jahrestemperatur der Luft zum Ausdruck bringt, so muss dort, wo diese letztere den 0 Punkt nicht erreicht, dies auch bei der oberen Zone der constanten Bodentemperatur der Fall sein, und wird der gefrorene Zustand des Bodens sich um so tiefer erstrecken, je tiefer unter Null die Jahrestemperatur ist. Die Grenzlinie, von der nördlich die Gebiete gelegen sind, in denen die mittlere Jahrestemperatur unter Null bleibt, bezeichnet sonach auch die Ausdehnung



Jahres- mittel	Jahresmittel der Temperatur des Bodens in der Tiefe von										Ort	Geogr. Breite	p <sub>0</sub>	k	t	z	Natur des Bodens	be- rech- net	Δ <sub>0</sub>
	0,0 Mt.	0,5 Mt.	1,0 Mt.	1,5 Mt.	2,0 Mt.	2,5 Mt.	3,0 Mt.	4,0 Mt.	6,0 Mt.	7,3 Mt.									
-10,9	—	—	—	—	-11,1	—	—	-10,1	-10,1	—	1. Jakutsk	62° 2' N.	Mt. 24,1	0,619*	-10	2	{ Dammerde und } Sand gefroren }	36,6°	70,4° L.
3,1	3,6	4,6	5,7	6,7	—	—	7,2	—	—	—	2. Petersburg	59° 56'	22,2	0,452	7	4	Sand	25,4	28,3
4,8	—	6,8	6,8	6,8	—	—	6,9	—	—	—	3. Upsala	59° 52'	19,0	0,354	7	8	Sand und Thon	21,1	22,6 L.
6,3	—	7,0	7,0	—	—	—	—	—	—	—	4. Stockholm	59° 21'	20,3	0,429*	7	1	Sand	19,6	23,5 L.
8,8	—	6,7	7,3	7,7	7,9	—	—	—	—	—	5. Eölnburg a	55° 58'	32,8	1,419	8	4	Sand	8,3	11,7 L.
7,4	—	—	7,5	7,7	—	—	—	8,0	—	8,3	b	—	—	—	—	—	Trapp	12,7	—
	—	—	7,8	8,0	—	—	—	8,2	—	8,4	c	—	—	—	—	—	Sand	14,9	—
	—	—	7,7	7,7	—	—	—	7,7	—	7,8	—	—	—	—	—	—	Sandstein	11,5	—
7,5	—	8,2	8,2	8,3	—	—	—	—	—	—	6. Königsberg a	54° 43'	—	0,470	8	13	Trapp	—	—
8,1	9,0	8,5	8,5	8,7	—	—	8,6	—	—	8,5	b	—	—	—	—	—	{ Sand und } Dammerde }	23,2	—
9,3	8,4	8,5	8,8	9,2	—	—	—	—	—	—	7. Schwerin	53° 36'	22,7	0,583	7	4	Sand	21,4	—
9,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8. Berlin	52° 30'	26,5	0,708*	9	8	Sand	21,9	20,4
8,5	8,0	8,8	8,4	—	—	—	—	10,3	—	10,2	9. Greenwiche	51° 29'	23,5	0,605	9	12	Sand	16,3	17,0
8,2	—	—	—	10,7	—	—	—	—	—	—	10. Leipzig a	51° 20'	31,1	0,980	9	6	Sandkies	14,7	—
10,5	9,8	9,7	10,7	—	9,0	—	9,2	—	—	—	b	—	31,3	1,030	9	4	—	21,4	27,0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11. Brüssel	50° 51'	24,8	0,626	11	6	—	18,9	—
9,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12. Bonn	50° 44'	27,1	0,723	10	1	—	14,2	16,9
—	—	10,0	11,2	11,1	—	—	—	9,8	—	—	13. Heidelberg	49° 28'	27,0	0,734*	11	7	Sand	22,0	—
9,8	—	11,1	12,1	11,3	—	—	—	—	—	—	14. Schwetzingen	49° 25'	29,1	0,855	11	5	Thon	22,2	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15. Paris a	48° 50'	22,4	0,498*	—	4	Sand	22,4	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	b	—	—	—	—	—	—	23,6	16,9 L.
10,8	—	—	11,9	—	—	—	11,7	—	—	—	16. München	48° 9'	15,7	0,294	12	1	Thon und Kies	11,6	—
7,3	—	—	8,8	—	—	8,9	9,0	9,0	9,0	—	17. Buda-Pest	47° 29'	22,3	0,548	9	1	Thon	15,6	20,5 L.
11,0	—	—	11,0	—	—	11,6	11,9	12,1	12,1	—	18. Zürich	47° 23'	16,4	0,271	12	2	—	22,0	—
8,8	—	9,4	9,7	10,1	10,5	—	—	—	—	—	19. Bern	46° 57'	18,7	0,342	10	4	—	16,5	—
9,1	—	—	8,9	—	—	—	—	—	—	—	20. Nakuss	42° 27'	14,6	0,262	14	3	Dammerde	24,3	30,8 L.
11,0	15,2*	14,6	15,2	15,0	—	—	14,5	14,0	—	—	21. Peking	39° 55'	16,8	0,381	13	1	Sand und Thon	37,8	38,6
12,0	—	12,1	12,1	11,8	—	—	13,3	13,3	—	—	22. Treviden	8° 31'	15,2	0,435	30	3	Thon	31,3	—
27,2	—	—	29,8	—	30,2	—	30,1	—	—	—	23. Sidney	33° 52'S.	29,7	1,060	17	6	Thon u. Sandstein	5,3	—
17,0	—	17,1	17,8	17,6	—	—	17,3	—	17,2	—	24. Melbourne	37° 49'S.	32,2	1,120*	16	2	Eisenhaltiger Kies	11,5	18,4 L.
14,2	16,9	13,3	—	15,6	16,1	15,8	—	—	—	—								17,1	—

\* Die mit diesem Zeichen versehenen Ziffern beruhen auf unsicheren und ungenauen Beobachtungen.

der ewig gefrorenen, invariablen Bodenschicht. Diese Linie verläuft rings um die polaren Regionen im Allgemeinen zwischen 56 bis 64° NB.

Zu Jakutsk in Sibirien, das eine mittlere Jahrestemperatur von  $-10,15$  besitzt, wurde im Jahre 1828 die Bohrung eines Brunnenschachtes begonnen, der im Jahre 1837 eine Tiefe von  $116\frac{1}{2}$  Meter erreicht hatte, ohne dass bisher die Grenze des Bodeneises gefunden worden wäre; die hier von SCHERGIN beobachtete Temperatur betrug  $-0,6$ . Die Tiefe der unteren Grenze des gefrorenen Erdbodens berechnete MIDDENDORFF auf  $186,5-195,7$  Meter <sup>1)</sup>.

## II. Innere Erdwärme.

Eine zweite Quelle der Bodentemperatur liegt in der inneren Erdwärme, sie tritt jedoch vorzüglich erst in jenen Schichten rein in die Erscheinung, die unterhalb der Grenze der invariablen Erdschicht gelegen sind und äussert sich in der mit wachsender Tiefe stets zunehmenden Temperatur. Diese Zunahme erfolgt nicht überall gleichmässig. Die physikalische und chemische Zusammensetzung des Bodens, die Anwesenheit von Wasser und Luft wirken mit bestimmend.

SAUSSURE fand zu Bex (Canton Waadt) in einem Schacht, der 3 Monate nicht befahren war,

in 312':  $14,4^0$ , in 550':  $15,6^0$ , in 660':  $17,4^0$  C.

Im Mont-Cenis-Tunnel war nach den Beobachtungen GIORDANO's die Temperatur folgende:

Tiefe unter der Oberfläche	Lufttemperatur	Gesteinstemperatur
520 Meter	$15,3^0$	$17^0$
910 "	$24,5^0$	$27,5^0$
1370 "	$26,8^0$	$28,8^0$
1609 "	$30,1^0$	$29,5^0$

Im Gotthard-Tunnel <sup>2)</sup> betrug die Temperatur 1250,5 Meter unter der Oberfläche (2410,5 Meter über dem Meeresspiegel)  $30,6^0$  C. In dem derzeit tiefsten Bohrloch Schladebach, nahe der Station Kötschau der Bahn Korbetha-Leipzig wurde in einer Tiefe von 1376 Meter eine Temperatur von  $48^0$  C. gefunden <sup>3)</sup>.

Die Commission der British Association zur Untersuchung der Untergrundtemperaturen gibt eine Zusammenstellung der verschiedenen Messungen über die Zunahme der Temperatur nach der Tiefe.

1) SCHMID, Meteorologie.

2) G. A. KOCH, Erdwärme und Tunnelbau. Zeitschrift des österr. Alpenvereins. 1882.

3) Naturforscher. 1883. S. 96.

Wir wollen derselben einige Angaben entnehmen, die theils wegen der Tiefe, in der die Beobachtungen angestellt wurden, theils wegen der erhaltenen Werthe für die Wärmezunahme interessant sind.

Ort	Tiefe		Temperaturzunahme	
	in engl. Fuss	in Metern	in engl. Fuss für je 1° F.	in Metern für je 1° C.
Bootle Wasserwerke (Liverpool) . . .	1392	424,3	130	71,3
Bergwerk Příbram (Böhmen) . . .	1900	579	126	69,1
St. Gotthard-Tunnel . . . . .	5578	1700	82	45
" " . . . . .	—	1026 <sup>1)</sup>	—	51,8
" " . . . . .	—	558 <sup>1)</sup>	—	42,3
" " . . . . .	—	301 <sup>1)</sup>	—	24
Mont-Cenis-Tunnel . . . . .	5280	1609	79	43
" " . . . . .	—	1528 <sup>1)</sup>	—	50
" " . . . . .	—	1370 <sup>1)</sup>	—	46
" " . . . . .	—	910 <sup>1)</sup>	—	36
" " . . . . .	—	520 <sup>1)</sup>	—	30
Ashton Moos, Kohlengrube(Manchester)	2790	850,4	77	42
Schemnitz, Bergwerk (Ungarn) . . .	1368	416,9	74	40,5
Manegaon, Bohrloch (Indien) . . .	310	94,5	68	37
Pariser artes. Brunnen (Grenelle) . .	1312	400	57	31
" " " (St. Andréé) . . .	830	253	56	30,8
" " " (Militärschule). . .	568	173,1	56	30,8
Londoner " " (Kentish Town)	1100	335,3	55	30
Jakutsk, gefrorener Boden (Sibirien) .	540	164,6	52	28
Sperenberg, Bohrloch (Berlin) . . .	3492	1064,3	51 <sup>1/2</sup>	28
Petersburg, Brunnen (Russland) . . .	656	200	44	24
Weardale, Grube (Northumberland) .	660	201,1	34	18,7

Als Mittelwerthe aus diesen Zahlen ergibt sich eine Zunahme der Temperatur um  $1^{\circ}$  F. in 64' oder für jeden Fuss eine Wärmezunahme von  $0,01566^{\circ}$  F. und im metrischen Maass ausgedrückt eine Temperaturzunahme von  $1^{\circ}$  in 35 Metern und für jeden Centimeter Tiefenzunahme eine Steigerung der Temperatur um  $0,000285^{\circ}$  C. <sup>2)</sup>

Mit Rücksicht auf die Tiefe, in welcher sich diese Vorgänge abspielen, haben dieselben im Allgemeinen nur beschränkte hygienische Bedeutung. In den Fragen des Berg- und Tunnelbaues werden sie eingehendere Beachtung finden.

### III. Die durch physikalisch-chemische Vorgänge innerhalb des Bodens erzeugte Wärme.

Als dritte Quelle der Bodenwärme sind gewisse physikalisch-chemische Vorgänge aufzufassen. Während ihre Be-

1) Diese Angaben entstammen nicht den englischen Berichten, sondern den Untersuchungen HANN's, Zeitschrift der österr. Gesellschaft f. Meteorologie. 1878.

2) Naturforscher. 1883. S. 96.

deutung für die Temperatur des Erdballs, als Ganzen, sehr gering erscheint, können sie für die Hygiene gerade dadurch von Wichtigkeit sein, dass sie sich in umschriebenen Herden, in begrenzten Localitäten geltend machen, und diese letzteren durch die Temperaturerhöhung, die sie verursachen, in eine Stätte umwandeln, die für die Entwicklung niederer Organismen günstige Bedingungen darbietet, und dies mitunter zu einer Zeit oder an einem Orte, wo sonst für derartige Vorkommnisse keine Disposition besteht.

Vorerst sind es die bei der Absorption von Gasen und Flüssigkeiten frei werdenden Wärmemengen, die in Betracht kommen. POUILLET<sup>1)</sup> fand bei Absorption von Wasser durch fein vertheilte anorganische Substanzen Temperaturerhöhungen bis zu 10°. STELLWAG'S<sup>2)</sup> Untersuchungen ergaben, dass die Temperaturerhöhung vollständig trockenen Bodens bei Zuführung von Wasser recht bedeutend ist (bei Lehm um 5,57° C., bei Eisenoxydhydrat um 6,6°, bei humösem Kalksande um 8,33°) und dass sie überhaupt um so grösser ist, je trockener, feinkörniger und kälter der Boden ist.

Bei der Absorption von Wasserdampf im trockenen Boden konnte BABO<sup>3)</sup> eine Temperaturerhöhung constatiren, die bei humusreichem, bei 30—40° getrockneten Boden von 20° auf 31°, bei humusarmem von 20 auf 27° stieg. In welcher Weise sich auch der mineralogische Charakter hierbei geltend macht, geht aus den Versuchen STELLWAG'S hervor. Unter gleichen Umständen erwärmte sich

Quarzsand, Korn (0,00—0,25 Mm. Durchmesser) um	0,88
Quarzpulver . . . . .	≙ 1,08
Gefällter kohlensaurer Kalk . . . . .	≙ 1,47
Kaolin . . . . .	≙ 2,63
Eisenoxydhydrat . . . . .	≙ 9,30
Torf . . . . .	≙ 12,25

Mit dem verschiedenen Grade der Absorptionsfähigkeit eines Bodens für verschiedene Gase variirt auch die hierdurch bedingte Temperaturerhöhung, sie ist nach STELLWAG geringer für Kohlensäure, höher für Ammoniak.

Die als Folge der Temperaturdifferenzen zwischen Boden und Luft auftretende Condensation von Wasserdampf zu Wasser ist ebenfalls als locale Wärmequelle zu berücksichtigen. An der Oberfläche des Bodens wird sie hauptsächlich zu jenen Tagesstunden erfolgen,

1) POUILLET, Annales de Chim. et Phys. XX.

2) STELLWAG, Temperatur der Bodenconstituenten. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. V.

3) BABO, Journal f. prakt. Chemie. 72.



in denen die Bodenoberfläche (durch Ausstrahlung) eine niedrigere Temperatur erhält als die Luft und als die unter ihr befindlichen Boden- und Luftschichten (am häufigsten ist dies der Fall von 1—6 h. Morgens, vergl. die Tabellen auf S. 143 u. 152, Curve Fig. 5 u. 8). Es erfolgt diese Condensation dadurch, dass die bedeutend stärker abgekühlte Bodenoberfläche den Wasserdampf der atmosphärischen Luft oder auch den der aufsteigenden Bodenluft niederschlägt. Da bei der Condensation von 1 Gramm Wasserdampf zu Wasser 536 Calorien frei werden, so liesse sich im speciellen Falle die Erwärmung, die eine solche Condensation zur Folge hat, berechnen. JAMIN benutzt diesen Calcul um zu zeigen, wie hierdurch der durch nächtliche Strahlung eintretenden Bodenabkühlung entgegengearbeitet wird.

Weiterhin können auch noch die im Boden vor sich gehenden chemischen Vorgänge die Bodentemperatur wenigstens an umschriebenen Stellen beeinflussen. Bei jeder Vereinigung der Elementaratome, beziehungsweise der näheren Bestandtheile einer chemischen Verbindung zu dieser Verbindung wird Wärme frei, bei jeder Zersetzung einer chemischen Verbindung in ihre Elementaratome oder ihre näheren Bestandtheile wird Wärme gebunden. Im Boden gehen nun mannigfaltige chemische Processe vor sich (vergl. Cap. V), bei denen allerdings das Endresultat dieser beiden, einander entgegengewirkenden Processe sich nicht immer genau feststellen lässt.

Es complicirt sich ausserdem dieser Vorgang durch die Mitwirkung von niederen Organismen, die bei den Vorgängen der Verwesung, Fäulniss und Gährung mitbetheiligt sind, und welche die in den chemischen Verbindungen enthaltene Spannkraft in lebendige Kraft, in Wärme umwandeln (im Gegensatze zu den chlorophyllhaltigen Pflanzen, welche unter Einwirkung des Lichtes und unter Zerlegung der Kohlensäure der Luft die lebendige Kraft der Sonnenstrahlen in Spannkraft umwandeln, indem sie aus den einfachen Körpern höher zusammengesetzte organische Verbindungen bilden).

Die Wärmemengen, die z. B. bei der Gährung gebildet werden, sind ganz erhebliche. In einem Flüssigkeitsquantum von 21400 Litern, in welchem 2559 Kgrm. Rohrzucker im Laufe von 4 Tagen vergohren, beobachtete DUBRUNFAUT eine Temperaturerhöhung von 23,7° auf 33,75°, das entspricht einer Erzeugung von 146,6 Calorien bei der Vergährung von 1 Kgrm. Rohrzucker oder 1,0526 Kgrm. Traubenzucker, wobei 0,51 Kgrm. Alkohol entstehen<sup>1)</sup>.

Die Bildung von Kohlensäure und salpetriger und Salpetersäure

1) NÄGELI, Theorie der Gährung. S. 54.

im Boden scheint ebenfalls mit der Lebensthätigkeit niederer Organismen zusammenzuhängen, jedenfalls verdanken sie ihre Entstehung der Oxydation organischer Substanzen; also gleichfalls Vorgängen, die mit Entbindung ziemlich grosser Wärmemengen einhergehen.

In der That lässt sich auch an circumscribten Stellen eine durch Zersetzungen hervorgerufene Temperatursteigerung nachweisen. PFEIFFER<sup>1)</sup> stellte fest, dass in einem aufgeschütteten, von Jauche durchtränkten Boden (in Weimar) eine durch Fäulnissvorgänge bedingte Temperaturerhöhung eintrat, welche in einer Tiefe von 3' bis 3° C. betrug. EMMERICH<sup>2)</sup> beobachtete in einem Falle, dass die Temperatur des Fehlbodens im Hause bei einer Zimmerwärme von 16° und ausserhalb der Heizperiode, lediglich in Folge rapid verlaufender Zersetzungsprocesse, bis zur Höhe von 32° ansteigen konnte.

Endlich ist noch auf locale Temperaturdifferenzen aufmerksam zu machen, die dadurch entstehen, dass gewisse Partien des Bodens der directen Einwirkung der äusseren Factoren entzogen sind. Abgesehen von dem Einflusse der Vegetationsdecke, dessen schon S. 135 gedacht wurde, sei hier der Bedeckung des Bodens durch Bauten gedacht. Durch dieselbe kann sowohl die grössere Erhitzung als auch Abkühlung der unter dem Bau befindlichen Bodenschichten verhindert werden.

Es wurden schon S. 57 die einschlägigen Untersuchungen PFEIFFER's angeführt, die darthun, dass der Boden unter dem Hause (im Keller) im Sommer eine tiefere, im Winter eine höhere Temperatur erreicht als unter denselben Bedingungen im Freien.

Ein indirecter Beleg hierfür ist auch aus den Kohlensäurebestimmungen PORT's<sup>3)</sup> zu entnehmen. Derselbe bestimmte die Kohlensäure der Grundluft einmal in dem Boden unterhalb des Hauses, sodann in jenem ausserhalb des Hauses in gleichen Tiefen von je 1,5 und 3,0 Metern (vergl. die Tabelle auf nächster Seite).

Die Kohlensäurebildung im Boden ist mit Rücksicht auf ihre zeitlichen Schwankungen in ihrer Intensität vorzüglich von der Temperatur abhängig (vergl. Cap. V).

Es ist schon bemerkenswerth, dass in beiden Fällen das Jahresmittel der Kohlensäure unter dem Hause höher ist als im Freien, 17,15 gegenüber 16,63 und 18,47 gegen 17,35; sodann aber finden wir in der Kohlensäureschwankung unterhalb des Hauses eine auffallende Verspätung. Das

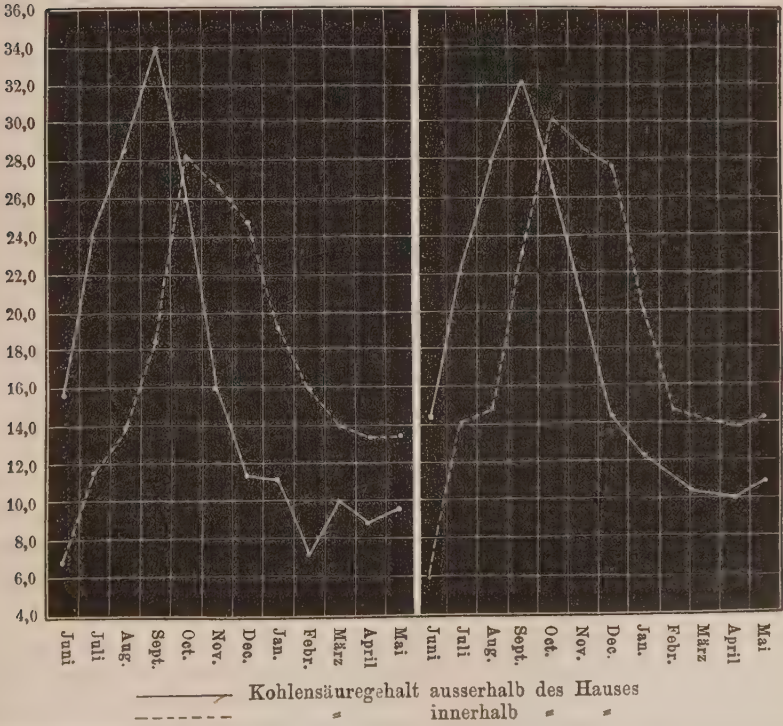
1) PFEIFFER, Einfluss der Bodenwärme auf die Verbreitung und den Verlauf der Cholera. Zeitschrift f. Biologie. VII.

2) EMMERICH, Die Verunreinigung der Zwischendecken. Zeitschrift f. Biologie. VIII.

3) PORT, Epidemiologische Beobachtungen in den Garnisonen Münchens. Archiv f. Hygiene. I.

	Lufttemperatur in 4' = 1,2 Meter Tiefe <sup>1)</sup>	Kohlensäuregehalt in Volumpromille in 1,5 Meter Tiefe ausserhalb   innerhalb des Hauses		Lufttemperatur in 12' = 3,5 Meter Tiefe <sup>1)</sup>	Kohlensäuregehalt in Volumpromille in 1,5 Meter Tiefe ausserhalb   innerhalb des Hauses	
Juni 1881 . .	11,51	15,67	6,75	8,16	14,36	5,91
Juli " . .	14,56	23,97	11,45	9,41	22,08	14,15
August " . .	15,27	28,47	13,73	10,78	27,96	14,84
Sept. " " . .	14,07	33,80	18,48	11,55	32,32	23,10
October " " . .	11,53	26,03	28,25	11,57	26,57	30,25
Nov. " " . .	8,70	16,11	26,68	10,82	20,54	28,71
Dec. " " . .	6,81	11,43	24,76	9,86	14,40	27,76
Jan. 1882 . .	4,77	11,08	19,25	8,86	12,27	20,02
Februar " . .	3,66	7,25	16,02	7,86	6,46	14,67
März " . .	4,23	9,83	14,02	6,93	10,38	14,23
April " . .	6,30	8,78	13,40	6,81	9,98	13,79
Mai " . .	8,91	9,65	13,36	7,30	10,95	14,28
Jahresmittel . .	—	16,63	17,15	—	17,35	18,47

Kohlensäuregehalt der Bodenluft in Volumpromille  
in 1,5 Meter Tiefe. in 3 Meter Tiefe.



1) Die Temperaturen des Bodens sind nicht direct in Beziehung zu bringen



Maximum der Kohlensäureproduction im Freien ist in beiden Tiefen im September wahrzunehmen, während es unterhalb des Hauses erst im October erreicht ist; dann erfolgt aber im Freien sofort ein plötzlicher und sehr steiler Abfall bis in den December resp. in den Februar, während unterhalb des Hauses der Abfall lange nicht so steil erfolgt und sich auch nicht so tief erstreckt. Es hängt dies wohl damit zusammen, dass der vom Hause bedeckte Boden den durch die directe Wärmeein- und -Ausstrahlung hervorgerufenen Schwankungen nicht ausgesetzt ist.

Es ist allerdings hervorzuheben, dass bei diesem Resultate auch noch andere Factoren mitwirken, welche die Rolle, welche die Temperatur etwa hierbei spielt, nicht vollkommen klar zu Tage treten lassen. Auch der Wassergehalt des Bodens ist auf die Kohlensäurebildung von Einfluss, eine Erhöhung desselben kann, bis zu einem gewissen Grade, die Kohlensäureproduction vermehren. Ferner kann die Bodenventilation das Resultat beeinflussen (vergl. S. 37). Im Freien kann durch Windströmungen eine stärkere Durchlüftung des Bodens erfolgen, als unter dem Hause, und so der Kohlensäuregehalt vermindert werden. Dafür wird sich unter dem Hause im Winter die aspirirende Kraft des erwärmten Hauses geltend machen, wodurch, wenn nicht ein anderer mächtiger Factor hinzutritt, die Bodenluft unter dem Hause sich allmählich mit der der Nachbarschaft mit Rücksicht auf ihren Kohlensäuregehalt ins Gleichgewicht stellen könnte, was jedoch nicht der Fall zu sein scheint (October—März).

Die hygienische Bedeutung der Temperaturverhältnisse des Bodens ist von verschiedenen Gesichtspunkten aus zu würdigen.

Zuvörderst sei auf den von WILD geführten Nachweis der durch die Temperaturunterschiede bedingten Luftbewegung in den oberen Bodenschichten hingewiesen (S. 159, vergl. auch Cap. III, S. 57); es sind die Temperaturdifferenzen zwischen Boden und Atmosphäre, zwischen Boden und Haus mächtige Factoren, die eine Wechselwirkung zwischen dem Boden und dem Menschen herbeizuführen vermögen.

Weiter sei auf jene Folgen der Temperaturschwankungen des Bodens hingewiesen, die sich in Volumveränderungen geltend machen. Es kann auf diese Weise zu Verschiebungen, zur Bildung von Spalten, Sprüngen, zur Ablösung von Gesteinstrümmern kommen. Hierdurch wird also einerseits eine Communication mit den tieferen Bodenschichten ermöglicht, andererseits aber durch die Beförderung der Staubbildung und durch die Loslösung von kleinen Partikeln, die leicht von heftigeren Luftbewegungen weiter getragen

---

mit den Kohlensäurezahlen. Einmal entsprechen die Tiefen, in denen sie beobachtet wurden, nicht genau den Tiefen für die Kohlensäurebestimmungen, sodann aber sind sie an einem anderen Orte (an der Sternwarte) angestellt worden. Ich führe sie nur an, um durch sie den Verlauf der Temperaturcurve im Boden zu charakterisiren.



werden können und so schliesslich an den Menschen gelangen (vergl. S. 20).

Gewisse chemisch-physikalische Vorgänge im Boden, die Umwandlung organischer Körper in anorganische, die Bildung von Salpeter und Kohlensäure hängen gleichfalls innig mit den Temperaturverhältnissen zusammen und endlich haben wir die directe Beeinflussung der Lebensthätigkeit und Entwicklung niederer Organismen ins Auge zu fassen. Der Umstand, dass wir innerhalb der verschiedenen Bodentiefen zu einer und derselben Zeit sehr verschiedene Temperaturen vorfinden, lässt gerade den Boden für die Entwicklung und Conservirung, vielleicht aber auch für die Umwandlung und Zerstörung gewisser Organismen günstig erscheinen. Wir haben hierbei im Auge zu behalten, dass die obersten Bodenschichten Temperaturen zeigen, die die Temperatur der Luft weit übertreffen, so dass die in diese Schichten gelangenden Pilze auf Bedingungen stossen, wie sie sie sonst ausserhalb des Körpers, im Freien, gar nicht vorfinden. Können diese hohen Temperaturen einerseits mitunter auf die Entwicklung und Vermehrung und auf die Bildung von Dauerformen ausserordentlich begünstigend einwirken zu einer Zeit, wo dies sonst im Freien nicht möglich ist (Cap. VI), so können andererseits noch weitere Steigerungen der Temperaturen leicht nachtheilige Wirkungen, eine Zerstörung, Hemmung oder Abschwächung gewisser Pilze hervorrufen. Die tieferen Bodenschichten mit ihrer gleichmässigen und relativ niedrigen Temperatur werden entweder nur eine allmähliche, langsame Entwicklung der Pilze zulassen oder einen Stillstand in der Entwicklung herbeiführen, ohne aber eine Zerstörung der Pilze veranlassen zu müssen, sie können also vielleicht in gewissem Sinne conservirend wirken (vergl. Cap. VI).

---

#### FÜNFTES CAPITEL.

### Boden und organische Substanzen <sup>1)</sup>).

Wir haben bisher, soweit es sich um den Zutritt von fremden Stoffen, von Gasen und Flüssigkeiten zum Boden handelte, nur die anorganischen Körper im Auge gehabt, und bei den flüssigen haben

---

1) Es schliesst dieses Capitel auch die Bodenverunreinigung in sich. Soweit sich diese letztere auf die speciellen Fälle der Verunreinigung durch Abfallstoffe, durch Leichen bezieht, sei auf die betreffenden Abhandlungen im II. Theil, II. Abtheilung, 1. Hälfte verwiesen.

wir uns sogar nur auf das chemisch reine Wasser beschränkt. In Wirklichkeit gelangt aber kaum je chemisch reines Wasser in den Boden, schon das Regenwasser nimmt Stoffe aus der Luft auf, die auf der Oberfläche des Bodens lagernden Körper geben ebenfalls lösliche Verbindungen an das Wasser ab, endlich werden direct die verschiedenartigsten Lösungen, wie sie sich als Schmutzwasser präsentiren, auf den Boden aufgegossen und gelangen so eventuell auch in die Tiefe.

Wenn nun auch schon die anorganischen Stoffe durch ihre Schicksale, die sie im Boden erfahren und die sie dem Boden selbst schaffen, einiges Interesse verdienen, so sind es doch vorwiegend die organischen Körper, die die Hygiene beschäftigt haben; wohl hauptsächlich deshalb, weil man in ihnen entweder direct schädliche Stoffe oder aber die Bedingungen für die Entwicklung und Vermehrung von Krankheitskeimen sah, sodann aber auch, weil sie als ein Vehikel zu betrachten sind, durch welches eben etwaige Krankheitserreger dem Boden zugeführt und aus demselben wieder weiter befördert werden können.

Wenn wir das Schicksal verfolgen, das die organischen Körper im Boden erfahren, so haben wir zunächst ihre Wanderungen im Boden ins Auge zu fassen, in zweiter Linie dann die etwaigen Veränderungen, die sie auf dieser Wanderung im Boden erfahren.

### I. Das Eindringen von Verunreinigungen in den Boden.

Die organischen Substanzen, die in den Boden eindringen, werden nun zuvörderst sich verschieden verhalten, je nachdem sie in Lösung oder als suspendirte Theile vorhanden sind. Für letztere wirkt der Boden als ein seiner mechanischen Zusammensetzung nach verschiedenen dichtes Filter, das die suspendirten Bestandtheile zurückhält; dabei tritt aber die eigenthümliche Erscheinung auf, dass auch Körper, deren Durchmesser resp. Querschnitt kleiner ist, als der der Poren und Lücken des Bodens, welche sie zu passiren haben, doch bis zu einem gewissen Grade zurückgehalten werden <sup>1)</sup>. Die Erfahrungen, die bei der Filtration von Abwässern u. s. w. gemacht wurden, haben ergeben, dass bei einer bestimmten Höhe der Filterschicht sämtliche suspendirte Stoffe zurückgehalten werden können.

Die gelösten Stoffe dagegen wandern, entsprechend den (S. 103 ff.) geschilderten Durchlässigkeitsverhältnissen des Bodens für Flüssig-

---

1) LISSAUER, Hygienische Studien über Bodenabsorption. D. Vierteljahrschr. f. öffentl. Gesundheitspflege. VIII.

keiten in die Tiefe, sofern sie nicht durch besondere Vorgänge an Ort und Stelle fixirt werden.

Eine Art Zurückhaltung der Stoffe im Boden erfolgt schon in dem Falle, in welchem Flüssigkeiten überhaupt vom Boden zurückgehalten und nicht an tiefere Schichten abgegeben werden, wo also das Transportmittel selbst in seiner Wanderung gehemmt wird; es tritt dieser Fall dann ein, wenn der Boden, der von den flüssigen organischen Stoffen durchtränkt wird, seine absolute Wassercapacität nicht erreicht hat, denn nur jene Flüssigkeitsmengen können in einem porösen Boden zum Abfluss gelangen, die einen Ueberschuss über die jeweilige absolute Wassercapacität des Bodens repräsentiren. Je trockener ein Boden vorher gewesen, und je grösser seine Wassercapacität, desto länger wird es dauern, bis ein Abfliessen zur Tiefe eintritt, desto länger werden also auch die gelösten organischen Stoffe, die gelösten Verunreinigungen in den oberen Schichten verbleiben (vergl. S. 112).

Die Vorgänge, die für diese Zurückhaltung von Flüssigkeiten im Boden verantwortlich zu machen sind, Adhäsions- und Capillari-täterscheinungen, lassen aber auch dann, wenn in Folge des Ueberschusses an Flüssigkeit ein Hindurchsickern oder Hindurchfliessen derselben etablirt ist, die gelösten Stoffe nicht gleichen Schritt halten mit den hindurchtretenden Flüssigkeitsmengen. Die S. 111 citirten Versuche HOFMANN's gewähren uns einen Einblick in die nach Ort und Zeit wechselnden Zustände der Bodenverunreinigung, wenn auch das Schicksal des die Bodenverunreinigung repräsentirenden Kochsalzes keinen vollständig richtigen Ausdruck für die Vorgänge bei organischen Verunreinigungen bietet, da diese eine besondere Fixirung durch den Boden erfahren (vergl. S. 179 ff.). Die Analogie der HOFMANN'schen Versuche könnten noch am richtigsten für die entsprechenden Verhältnisse eines Bodens gelten, dessen Absorptionsvermögen für die jeweilig zugeführten organischen Stoffe gesättigt ist.

Eine unseren Zwecken angepasste Modification der Tabelle von S. 112 kann uns zeigen, wie sich allmählich die Concentrationsverhältnisse einer einmal im Boden herbeigeführten Verunreinigung ändern (vergl. die Tabelle auf folgender Seite).

Bei gleicher Menge des aufgegossenen und auch abgeflossenen Wassers ist die Grösse der noch zurückbleibenden löslichen Stoffe, und dem entsprechend die Schnelligkeit der Bodenreinigung, der Bodenauslaugung eine sehr verschiedene. Der Vergleich zwischen Col. 5 und 8 besonders belehrt uns über den Einfluss, den in diesem

Versuchstag	Col. 1	2	3	4	5	6	7	8
			Aus Sand I (grobporig 0,5—1,0) abgeflossen			Aus Sand II (feinporig 0,3—0,5) abgeflossen		
			Aufgegossen					
			Mgrm. Kochsalz	In o/o des aufge- gossenen Kochsalzes	Der Boden enthält noch o/o des auf- gegossenen Kochsalzes	Mgrm. Kochsalz	In o/o des aufge- gossenen Kochsalzes	Der Boden enthält noch o/o des auf- gegossenen Kochsalzes
1		50 Cbcm. mit 0,504 Grm. NaCl	0	0	100	0	0	100
2		50 " dest. Wasser	23	4,5	95,5	0	0	100
3		50 " " "	178	35,3	60,2	0	0	100
4		50 " " "	117	23,2	37,0	0	0	100
5		50 " " "	83	16,4	20,6	0	0	100
6		50 " " "	68	13,4	7,2	51	10,1	89,9
7		50 " " "	24	4,7	2,5	189	37,5	52,4
8		50 " " "	7	1,3	1,2	182	36,1	16,3
9		50 " " "	3	0,6	0,6	72	14,1	2,2
10		50 " " "	1	0,2	0,4	9	1,8	0,4
11		50 " " "	0	0	0	0	0	0

Falle die physikalische Structur ausübt (der Einfluss des mineralogischen Charakters des Bodens wurde von HOFMANN nicht in das Bereich seiner Untersuchungen gezogen).

Während der feinporige Boden am 3. Tage noch sämtliches Kochsalz in sich enthält (100 %), sind im grobporigen nur noch 60 % vorhanden; auch am 5. Tage enthält der feinporige noch seine sämtlichen Verunreinigungen (100 %), der grobporige nur 20,6 %; am 6. Tage enthält der feinporige Boden noch 11mal so viel von eingeführten Stoffen als der grobporige.

Die Ursachen für diese Erscheinungen liegen nicht blos in der geringeren Durchlässigkeit des feinporigen Bodens für Wasser, in dem grösseren Widerstande, sondern auch darin, dass in einem feinkörnigen Boden die mit dem Auswaschen nothwendig sich combinirende Vermischung eine geringere ist, offenbar wegen der capillaren Widerstände; wird nun auf diese Weise die Verunreinigung im feinporigen Boden lange festgehalten, so wird sie andererseits aber auch mehr local fixirt; die eindringende Verunreinigung findet eine beschränktere Verbreitung, sie ist weniger beweglich.

Zu Schlussfolgerungen mit Rücksicht auf die natürlichen Verhältnisse, auf die wechselnden meteorologischen Bedingungen und den dadurch bewirkten Transport der Verunreinigungen in die Tiefe, in das Grundwasser, gelangt HOFMANN auf folgendem Wege. In seiner Versuchsanordnung betrug der Querschnitt der Röhren, also die Bodenoberfläche, 16,7 □ Cm. und die täglich aufgegossene Flüssigkeitsmenge von 50 Cbcm. würde demnach einer täglichen Regenhöhe von 30 Mm. entsprechen.



Der zeitliche Vorgang des Eindringens in den Boden verlief nun folgendermaassen:

Im grobporösen Boden war die Verunreinigung am 2. Tage, nachdem im Ganzen 100 Cbcm. = 60 Mm. Regenhöhe aufgegossen worden, in der Tiefe von 1 Meter angelangt, und zwar 4,5 % sämtlicher Verunreinigungen.

Im feinporösen war die Verunreinigung am 6. Tage, nachdem im Ganzen 300 Cbcm. = 180 Mm. Regenhöhe aufgegossen worden, in derselben Tiefe angelangt.

Die durchschnittliche Regenmenge in Leipzig, dem Orte, an dem diese Versuche angestellt wurden, beträgt aber nur 1,57 Mm. pro Tag (574 Mm. im Jahr); es braucht demnach die Verunreinigung daselbst, um einen Weg von 1 Meter in die Tiefe zurückzulegen:

Im grobporösen Boden  $\frac{60}{1,57} = 38$  Tage. Das entspricht einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von ca. 26 Mm. pro Tag.

Im feinporösen Boden  $\frac{180}{1,57} = 114$  Tage. Das entspricht einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von ca. 9 Mm. pro Tag.

HOFMANN sucht ferner an die localen Verhältnisse, den wirklich constatirten Wassergehalt des Bodens und die jeweiligen Regenmengen anzuknüpfen, um daraus die Durchtrittszeit für eventuelle Verunreinigungen zu bestimmen. Von der Voraussetzung ausgehend, dass zur Herbeiführung eines Transportes der Verunreinigungen im Umfange eines bestimmten Cubikraumes Erde eben so viel Wasser eindringen müsse, als in den Capillarräumen vorhanden ist, resp. sein kann, kam er zu folgenden Resultaten bezüglich einiger von ihm auf ihren Wassergehalt untersuchten Bodenarten (vgl. S. 79 u. 80).

Friedhofsboden Schichtentiefe Meter	Pro □ Meter daselbst zu verdrängendes Wasser Liter	Pro □ Mm. daselbst zuzuführende Regenmenge in Mm. = Lit.	Zeitperiode für diese Regenmenge	Summe der erforderlichen Tage
0—0,5	132	132	1. Jan. — 15. April	104,9
0,5—1,0	127	127	15. April — 23. Juni	69,3
1,0—1,5	132	132	23. Juni — 29. Aug.	66,4
1,5—2,0	124	124	29. Aug. — 23. Nov.	86,6
2,0—2,5	107	107	23. Nov. — 16. Febr.	84,3
2,5—3,0	104	104	16. Febr. — 27. April	70,6
0—3,0	726	726	1. Jan. — 31. Dec. und 1. Jan. — 27. April	482,6

Auffüllboden Schichtentiefe Meter	Pro □ Meter dasselbst zu verdrängendes Wasser Liter	Pro □ Mm. dasselbst zuzuführende Regenmenge in Mm. = Lit.	Zeitperiode für diese Regenmenge	Summe der erforderlichen Tage
0—0,25	87	87	1. Jan. — 16. März	75
—0,75	242,5	242,5	16. März — 25. Juli	131
—1,25	160,5	160,5	25. Juli — 21. Nov.	119
—1,75	156,0	156,0	21. Nov. — 4. März	103
—2,25	267,0	267,0	4. März — 29. Juli	147
—2,90	172,0	172,0	29. Juli — 21. Nov.	115
—3,00	37,0	37,0	21. Nov. — 14. Dec.	23
0—3,00	1122	1122	1. Jan. — 31. Dec. und 1. Jan. — 14. Dec.	713

Diese Tabellen zeigen also, dass Stoffe, welche so leicht und ohne Hinderniss durch die Poren wandern, wie eine klare Kochsalzlösung, ausserordentlich lange Zeit brauchen, um eine bestimmte Tiefe zu erreichen, für eine Tiefe von 3 Metern 482 und 713 Tage, entsprechend der verschiedenartigen Bodenbeschaffenheit. Es ergibt sich als Weggeschwindigkeit in diesen Versuchen:

	Im Friedhofsboden	Im Auffüllboden
Mittleres Eindringen im Tage . .	6,2 Mm.	4,2 Mm.
„ „ „ Monat . .	18,2 Cm.	12,6 Cm.
„ „ „ Jahre . .	2,26 Meter	1,53 Meter.

Diese Vorgänge haben ihr Interesse auch für die Frage der Brunnenverunreinigung, die ja nur als Grundwasserverunreinigung aufzufassen ist. Es ist ersichtlich, dass die chemisch nachweisbaren Verunreinigungen der Brunnen in einem feinporösen Boden vielfach einer weit früheren Periode angehören, als der, in welcher sie aus dem Untergrunde geschöpft werden, dass ferner mit einem grösseren Wassergehalt des Bodens, mit einer grösseren Niederschlagsmenge das Eindringen von Verunreinigungen in Grund- und Brunnenwasser beschleunigt und auch vermehrt wird. Mit Rücksicht darauf, dass die organischen Verunreinigungen den Boden nicht in dieser integren Weise durchwandern wie das Kochsalz, sondern von demselben zurückgehalten werden, muss die Bewegung dieser Stoffe nach abwärts noch langsamer erfolgen.

Die organischen Beimengungen unterliegen im Boden einer doppelten Beeinflussung von Seite desselben, sie werden vom Boden absorbiert und chemisch verändert.

## II. Absorption der organischen Stoffe im Boden.

Die Agriculturchemie hat der Frage der Absorption des Bodens ihre besondere Aufmerksamkeit zugewandt, seitdem durch die Arbeiten von HUXTABLE, THOMSON, WAY und LIEBIG eine mächtige Anregung hierzu gegeben worden war; sie erklärt sie als eine Eigenschaft des Bodens, die darin besteht, gelöste Stoffe sehr verschiedener Art, vorzüglich aber anorganische Substanzen, unter ihnen eine Reihe von Pflanzennährstoffen, in sich niederzuschlagen, so dass die durchfiltrierende Lösung weit ärmer an diesen gelösten Stoffen wieder aus der Erde austritt <sup>1)</sup>. Diese Absorption ist constatirt für die Basen Ammoniak, Kali, Natron, Kalk und Magnesia und für die Säuren Kieselsäure und Phosphorsäure.

Diese Absorptionserscheinungen, die für die Fruchtbarkeit des Bodens eine so grosse Bedeutung haben, beruhen theils auf physikalischen, theils auf chemischen Vorgängen. Physikalisch scheint es vorwiegend die Flächenattraction zu sein, die hier zur Wirkung kommt; hierfür spricht unter anderem, dass der Boden je nach seiner mechanischen Beschaffenheit, seiner Porosität verschiedene Wirkung zu äussern vermag, dass die feine Vertheilung der Bodenpartikel, die einer Vergrösserung der Gesamtoberfläche entspricht, besonders auf die Absorption wirkt, dass die Absorption eine grössere wird, wenn man die salzhaltigen Flüssigkeiten allmählich durch den Boden filtrirt, als wenn man diese beiden mit einander schüttelt. Chemisch sind hierbei die im Ackerboden enthaltenen wasserhaltigen Doppelsilikate (Zeolithe) wirksam, bestehend aus kieselsaurer Thonerde einerseits, kieselsaurem Kalk oder Alkali andererseits. Die in denselben nur sehr locker gebundenen Monoxyde lassen sich nicht schwer durch gewisse Basen (Kali, Natron, Ammoniak), die sich in den zu absorbirenden Flüssigkeiten als Salze befinden, verdrängen. Die Humussäure sodann und die hydratische Kieselsäure wirken absorbirend auf Carbonate und Oxydhydrate der alkalischen Erden und Alkalien, insofern die Humate und Silicate schwerer löslich sind als jene. Der kohlen saure Kalk und das Eisenoxxydhydrat wirken absorbirend auf die Phosphorsäure.

Einer ähnlichen Absorption unterliegen nun auch die organischen Substanzen, die in den Boden eindringen. Schon um 1685 schilderte

---

1) A. MAYER, Lehrbuch der Agriculturchemie. III. Aufl. Bd. 2. S. 79.

PORTIUS<sup>1)</sup> die Methode, deren sich die Venetianer bedienten, um ihrem Wasser den schlechten Geruch und Geschmack zu rauben, indem sie dasselbe durch eine Sandschicht in ihre Cysternen filtriren liessen. GAZZERI<sup>2)</sup> machte 1819 auf die Entfärbung der Jauche durch Thon aufmerksam, und BRONNER<sup>3)</sup>, der die auffallende Erscheinung zu erklären sucht, dass selbst bei völligem Durchdringen einer Bodenschichte von bestimmter Höhe von einer Düngerflüssigkeit die extractiven Dünge theile selten gleichmässig bis in die tiefste Schicht sich vertheilen, führt folgendes lehrreiche Experiment an:

„Man füllt eine Bouteille, die in ihrem Boden ein kleines Loch hat, mit feinem Flusssande oder halbtrockener, gesiebter Gartenerde an. In diese Bouteille giesse man allmählich so lange dicken und ganz stinkenden Mistpuhl, bis die ganze Masse durchdrungen ist; die aus der unteren Oeffnung hervorkommende Flüssigkeit wird fast geruchlos und farblos erscheinen und die Eigenschaft des Puhls gänzlich verloren haben.“

„Sogar das Wasser der Seine in Paris, in welches so viele tausend Kloaken täglich abfliessen, welches deshalb zu jedem ökonomischen Gebrauche untauglich ist, wird dadurch gereinigt und zu ökonomischen Zwecken brauchbar gemacht, dass man dasselbe in kegelförmige, in einem porösen Sandstein ausgehauene Behälter bringt, durch welche das Wasser langsam durchdringt und als klares, ziemlich geschmack- und geruchloses Wasser aufgefangen wird.“

Die Frage der Flussverunreinigung hat sodann zu ausgedehnten experimentellen Arbeiten auf diesem Gebiete geführt, und es waren besonders die höchst bedenklichen Erscheinungen der Verunreinigung englischer und schottischer Flüsse durch Abwässer der Industrie und der städtischen Kanäle, die sehr umfangreiche und bedeutsame Untersuchungen anregten und deren Resultate so ziemlich maassgebend für die weitere Entwicklung dieser Frage waren.

Die durch den Boden erfolgende Filtration von Spüljauche, Kanalwasser hat sich nicht etwa als eine nur rein mechanische Filtration erwiesen, die nur zur Zurückhaltung der suspendirten Bestandtheile führt, sondern sie hat auch das abfliessende Wasser viel ärmer an organischen Stoffen erscheinen lassen, ja dasselbe mitunter

---

1) De militis in castris sanitate tuenda, auctore LUCA ANTONIO PORTIO. Vienna 1685.

2) A. ORTH, Landwirthschaftliche Versuchsstationen. XVI.

3) Der Weinbau am Haardtgebirge von Landau bis Worms, dargestellt von J. Th. BRONNER. Heidelberg 1836. III. Heft. S. 44.



vollständig von ihnen befreit (vergl. dieses Handbuch II. 1. 3. Städtereinigung. S. 227 ff.).

Dass es sich hierbei aber wirklich vorerst nur um eine Absorption, nicht um eine sofortige Zerstörung der Stoffe handelt, erhärtet SOYKA <sup>1)</sup> durch den Nachweis der unveränderten Stoffe im Boden, durch die Extraction derselben mit geeigneten Lösungsmitteln. Ferner geben die Analysen der verunreinigten Boden den entsprechenden Beleg hierfür. WOLFFHÜGEL <sup>2)</sup> hat Untersuchungen von Boden vorgenommen, die entsprechend ihrer Lage mehr oder weniger Verunreinigungen ausgesetzt waren.

1 Cubikmeter Boden enthält in Kilogramm:

Boden	Tiefe, aus der die Probe entnommen Meter	Gesamtmenge	Im kalten Wasser löslich				Im kalten Wasser unlöslich	
			Glühverlust	Organ. Substanzen	Chlor	Salpetersäure	Glühverlust	Stickstoff
Normalboden . . . .	3,7	0,211	0,052	0,118	0,010	0,012	1,504	0,014
Unter modernem Kanal	3,6	0,217	0,091	0,093	0,021	0,018	3,356	0,055
Unter (dichter) Abtrittsgrube . . . . .	2,4	0,603	0,185	1,257	0,110	0,019	5,461	0,060
4,5 Meter von einer Düngergrube entfernt	2,3	4,710	1,500	2,230	0,330	0,046	39,772	90,956

Zu analogen Befunden kam FODOR <sup>3)</sup> bei seinen Budapester Bodenuntersuchungen und EMMERICH <sup>4)</sup>, welcher den Nachweis lieferte, dass der Zwischenboden unserer Wohnungen im Laufe der Zeit eine ausserordentliche Menge organischer Verunreinigungen in sich aufspeichert.

Die organischen Körper, die durch diese Vorgänge im Boden zurückgehalten werden, gehören den verschiedensten chemischen Gruppen an. FALK <sup>5)</sup> leitete durch in Glasröhren eingeschlossene Bodensäulen (Berliner Sandboden) von 60 Cm. Höhe und 3 Cm.

1) SOYKA, Die Untersuchungen zur Canalisation. München 1885, und Die Selbstreinigung des Bodens. Archiv f. Hygiene. II.

2) WOLFFHÜGEL, Die Verunreinigung des Bodens durch Strassenstaub, Abort- und Düngergruben. Zeitschrift für Biologie. XI.

3) FODOR, Hygienische Untersuchungen über Luft, Boden und Wasser. II. Abtheilung. Braunschweig 1882.

4) EMMERICH, Die Verunreinigung der Zwischendecke. Zeitschrift f. Biologie. XVIII.

5) FALK, Experimentelles zur Frage der Canalisation mit Berieselung. Vierteljahrsschrift für gerichtliche Medicin und öffentliches Sanitätswesen. N. F. XXVII.

Durchmesser und einem Rauminhalt von 300 Cbcm. verschiedene organische Stoffe hindurch, auf deren Anwesenheit er dann das Filtrat untersuchte. Folgende aufgegossene Stoffe waren — in unveränderter Form auch nach längerer Zeit — im Filtrat nicht nachzuweisen: Von flüchtigen Körpern sulfocarbonsaures Natron, Naphthylamin, Thymol; — Aethylenäther und Indol lieferten dagegen nur dann das entsprechende Resultat, wenn sie in grösserer Verdünnung aufgegossen wurden. Von Alkaloiden verschwand Strychnin und Nicotin im Boden, von den ungeformten Fermenten Emulsin, Myrosin, Speichel; die Flüssigkeit hatte nach dem Filtriren durch den Boden ihre Spaltungsfähigkeit verloren (Salicin und Amygdalin dagegen nicht). Endlich untersuchte er auch gewisse hypothetische Fermente, die bisher nur durch ihre pathogene Wirkung gekannt waren, ein albuminöses Ferment, welches febrile Temperaturen erzeugt und nach SENATOR durch Extraction von tuberculösen Sputis mit Glycerin gewonnen wurde, ferner ein nach HILLER bereitetes septisches Glycerinextract; diese beiden büsstten durch die Bodenfiltration ihre Wirkung ein. Er machte ferner die Bemerkung, dass Blut, Blutfarbstoff, Eiweiss im Boden zurückgehalten wird, Glycerin und Fett aber durch denselben hindurchgeht.

SOYKA (l. c.) erweiterte diese Versuche mit Rücksicht auf die Alkaloide, indem er das gleiche Verhalten von Chinin, Morphin und Atropin (in ihren Sulfaten), Pyridin und schwefelsaurem Pyridin, Piperidin und salzsaurem Piperidin, schwefelsaurem Chinolin und salzsaurem Cinchonin nachwies und zwar sowohl für Kiesboden als auch für Torf.

Die Grösse der Absorption organischer Stoffe hängt ebenso wie die der anorganischen von der physikalischen und wohl auch mineralogischen Bodenbeschaffenheit ab. Bei den mit Alkaloiden angestellten Versuchen, bei denen die Grösse der Absorption für die einzelnen Gifte constatirt werden sollte, fand SOYKA ein Absorptionsvermögen bei grobporösem Kiesboden (1—2 Mm. Korndurchmesser) von 0,35%, bei feinporigem Boden von 0,42 Gewichtsprocenten Strychninsulfats. Ein noch viel grösseres Absorptionsvermögen ergaben die an organischen Stoffen reichen Bodenarten, wie Torf. Bei diesen Versuchen ergab sich auch, dass für die Grösse der Absorption die Art und Weise des Durchtretens der Flüssigkeit von Einfluss ist, analog wie dies KÜHN-ZALOMONOFF für die anorganischen absorbirbaren Stoffe nachgewiesen <sup>1)</sup>. Eine Strychninlösung allmählich in

---

1) Berichte des landwirthschaftlichen Instituts in Halle. 2. Heft.

Portionen zu 10 Cbcm. aufgegossen liess 3,3 Grm. Strychninsulfat im Kiesboden zur Absorption gelangen; rasch in einer Menge von 200 Cbcm. aufgegossen, wurden weniger als 2 Grm. absorbiert.

Die Bodenabsorption wächst auch mit der Concentration der aufgegossenen Lösung. Für die absorbirbaren organischen Stoffe hat LISSAUER (l. c.) den Beweis folgendermaassen erbracht: Drei gleich grosse Bodenproben wurden von ihm mit je 200 Cbcm. Harnstofflösung von verschiedener Concentration (1 %, 2 % und 3 %) übergegossen und im Filtrat die durchgegangene Harnstoffmenge bestimmt. Das Resultat ist in folgender Tabelle enthalten:

Versuchsnummer	Die aufgegossene Flüssigkeit von 200 Cbcm. enthielt Harnstoff		Das Filtrat enthält Harnstoff in Grm.	Der Boden enthielt in den zurückgehaltenen 137 Cbcm. Flüssigkeit an Harnstoff	
	in Grm.	in %		Grm.	%
1	2	1	0,353	1,645	1,2
2	4	2	0,6764	3,3236	2,4
3	6	3	1,132	4,868	3,5

In diesen Versuchen geht die Zunahme der Absorption mit der der Concentration parallel einher.

Diese mit Zunahme der Concentration einhergehende Zunahme der Absorptionsfähigkeit scheint jedoch nur innerhalb gewisser Grenzen vor sich zu gehen, wenigstens bei gewissen organischen Verbindungen. FALK hat gezeigt, dass eine nach der Bodenbeschaffenheit verschiedene Verdünnung von Blutserum erforderlich war, um ein Hindurchtreten von Albumin und organischen Derivaten und eine faulige Umsetzung derselben hintanzuhalten. War z. B. das Filtrat eines fünffach verdünnten Serums so rein, dass es weder unzersetztes Eiweiss, noch organische Derivate enthält, Abdampfen und Glühen des Rückstandes kaum mehr die Spuren von organischem Kohlenstoff und Stickstoff ergibt, so enthielt das Filtrat bei einer nur vierfachen Verdünnung aufs Deutlichste unverändertes Albumin und putride Eiweissabkömmlinge und roch faulig. Es hängen diese Vorgänge schon mit den sub III zu schildernden Vorgängen der Zerstörung der organischen Substanzen zusammen.

### III. Die Umwandlungen der organischen Stoffe im Boden.

#### *Selbstreinigung des Bodens.*

Vergleicht man bei den mit organischen Verunreinigungen angestellten Filtrations- oder Berieselungsversuchen die durch Analysen

bestimmten Stoffe in den Abwässern vor und nach der Filtration resp. Berieselung nach Menge und Beschaffenheit, so findet man, dass das Filtrat, das abfließende Wasser, im Allgemeinen eine andere Zusammensetzung zeigt; dass gewisse Bestandtheile eine Zunahme, gewisse eine Abnahme erfahren, und dass auch chemische Körper auftreten, die in der ursprünglichen Flüssigkeit gar nicht vorhanden waren. So zeigen z. B. die organischen Stoffe, der organische Stickstoff und organische Kohlenstoff, das Ammoniak bedeutende Abnahmen, dagegen stellen sich im Filtrat neue Stickstoffverbindungen ein, die salpeter- und salpetrigsäuren Salze.

Es sei aus den mit absteigender, intermittirender Filtration angestellten Versuchen FRANKLAND's <sup>1)</sup> eine kleine Tabelle zusammengestellt, die diese Verhältnisse demonstirt.

Die Zahlen geben die in 100 000 Theilen Wasser enthaltenen Bestandtheile an.

	Gelüste Stoffe	Organischer Kohlenstoff	Organischer Stickstoff	Ammoniak	Stickstoff in Form von Nitraten und Nitriten	Durchschnitt aus
Durchschnittliche Zusammensetzung des Kanalwassers vor der Filtration . . .	64,5	4,386	2,484	5,557	0	—
Absteigende Filtration durch eine 15' hohe Sandschichte	78,5	1,033	0,330	0,621	3,512	16 Versuchen
Absteigende Filtration durch eine 15' hohe Schichte von Sand und Kreide . . .	96,8	0,726	0,113	0,035	3,814	12 "
Absteigende Filtration durch eine 5' hohe Schichte von Erde von Beddington (sehr poröser Kies) . . .	102,5	0,698	0,133	0,010	3,574	18 "
Absteigende Filtration durch eine 5' hohe Schichte von Erde von Hambrook (leichter Sand von hellrother Farbe)	111,3	1,118	0,162	0,112	2,944	15 "
Absteigende Filtration durch eine 5' hohe Schichte von Erde von Dursley (leichter, gelblich-brauner Lehm) .	102,1	0,709	0,188	0,209	4,054	28 "

Wenn wir diese Zahlen zu deuten versuchen, so gelangen wir zu folgender Annahme.

Das Wasser, das durch den Boden abfließt, nimmt vorerst eine Reihe von Stoffen auf; denn die Menge der gelösten Stoffe im Filtrat

1) River Pollution Commission. Reports of the commissioners, appointed in 1868 to inquire into the best means of preventing the pollution of rivers.



übersteigt die des Kanalwassers um 20—70 %. Diese Zunahme ist aber wohl ausschliesslich anorganischer Provenienz, da sowohl der organische Kohlenstoff als auch der organische Stickstoff eine sehr bedeutende Herabminderung erfährt. Die Verminderung des organischen Kohlenstoffs kann bis 85 % der ursprünglichen Menge betragen, die des organischen Stickstoffs gar bis 95,5 %, ebenso verschwindet, wie ja bei der grossen Absorptionsfähigkeit des Bodens für Ammoniak erklärlich ist, der grösste Theil des Ammoniaks. Die Abnahme kann sogar an 100 % betragen.

Die Zunahme nun, die die Bodenfiltrate an gelösten anorganischen Stoffen erfährt, ist also zum grössten Theil darauf zurückzuführen, dass die Abwässer gewisse lösliche Bestandtheile des Filtermaterials (Kalk, Magnesia, Eisensalze) auflösen; aber doch nicht ausschliesslich. Denn es zeigen sich im Filtrat chemische Verbindungen in grösserer Menge, die im Boden gar nicht oder nur in Spuren vorhanden sind und die auch nicht in der zu filtrirenden Flüssigkeit vorhanden waren, die also erst im Boden durch gewisse mit der Filtration verbundene Vorgänge sich bilden; es sind dies besonders Nitrite und Nitrate. Diese Stoffe erscheinen im Filtrat mitunter in einer derartigen Menge, dass sie nicht dem Boden selbst entstammen können, sondern als Producte der Oxydation des in anderweitiger Form als Ammoniak oder als organischer Stickstoff vorkommenden Stickstoffs der aufgegossenen Flüssigkeit erscheinen.

Dieselben Veränderungen machten die Abwässer auch bei der Berieselung durch.

Das Berliner Rieselwasser enthielt in 100 000 Theilen <sup>1)</sup>:

	Rück- stand	Sal- peter- säure	Sal- petrige Säure	Am- moniak	Reducirtes Kaliumper- manganat
Spüljauche aus dem Druckrohr in Fal- kenberg durch Papier filtrirt . .	107,06	0,25	0,0000	8,440	22,12
Mitte des nördlichen Sielgrabens . .	88,88	2,12	0,1500	1,600	4,46
Südlicher Sielgraben, 20 Schritte ober- halb der Mündung in die Wuhle .	88,26	1,30	0,1875	1,800	4,28

Die Abnahme sowohl des Ammoniaks als auch der organischen Substanzen geht mit der Zunahme der Nitrate und Nitrite einher.

Da es sich nun an der Hand der Bodenanalysen nachweisen lässt, dass die vorgefundenen Quantitäten von Nitriten und Nitraten

1) Die Verhandlungen der deutschen Gesellschaft für öffentliche Gesundheitspflege zu Berlin über Canalisation und Berieselung. Berlin 1883.

keineswegs Auslaugungs- oder Zersetzungsproducte des Bodens sein können, da ferner durch Versuche von BOUSSINGAULT <sup>1)</sup>, SCHLÖSING <sup>2)</sup> constatirt ist, dass der Stickstoff der Luft keineswegs zur Bildung dieser Nitrate und Nitrite verwendet wird, so hat die Annahme, es handle sich hier um Veränderungen, die die stickstoffhaltigen organischen Substanzen im Boden erfahren, um so mehr Berechtigung, als ja auch in den natürlichen wie künstlichen Salpeterplantagen die stickstoffhaltigen, organischen Stoffe als die Quelle der Salpeterbildung angesehen werden, und damit wäre schon ein Anhaltspunkt für die „Selbstreinigung des Bodens“ gegeben.

Die Umwandlung von organischem Stickstoff in Nitrite und Nitrate erfolgt jedoch schon in Flüssigkeiten, wie GOPPELSRÖDER <sup>3)</sup> bewiesen. Harn, der frei von fremden Bestandtheilen sich selbst überlassen ist, lässt bereits nach Ablauf eines Tages Nitrite und nach längerer Zeit Nitrate in sich nachweisen. Ein ähnliches Resultat erhielt G. auch bei festen Excrementen, bei dem mit Wasser befeuchteten, der Luft ausgesetzten Guano. Dass aber der Boden bei diesem Vorgange eine Rolle spielt, wurde durch SCHLÖSING und MÜNTZ <sup>4)</sup> erwiesen, indem sie durch Zusatz von Gartenerde zu einer bisher nicht nitrificirenden Flüssigkeit die Nitrification sehr rasch in Gang setzten. SOYKA (l. c.) hat dann gezeigt, dass diese Nitrification nicht bloß für die stickstoffhaltigen Körper der Abwässer gelte, sondern dass auch Alkaloide, wie Strychnin, Chinin, Morphin u. s. w., diesem Umwandlungsprocesse im Boden unterliegen, freilich, mitunter erst, nachdem sie ein Zwischenstadium, eine Umwandlung in Ammoniak, durchgemacht. In gewissen an organischen Stoffen sehr reichen Bodenarten, z. B. dem Torfe, scheint der Process mit der Ammoniakbildung beendet zu sein und stellt sich die Nitrification auch nach längerem Zeitraum nicht ein.

Einen weiteren Anhaltspunkt finden wir sodann in dem Auftreten eines anderen Oxydationsproductes, das als letztes Zersetzungsproduct organischer Stoffe angesehen werden muss, in dem Vorkommen von Kohlensäure im Boden.

Seit den Untersuchungen von BOUSSINGAULT und LEVY <sup>5)</sup> wissen wir, dass die Ackerkrume einen weit grösseren Gehalt an Kohlensäure enthält als die atmosphärische Luft; während der Kohlensäure-

1) Comptes rendus. Tom. XXVI. p. 22.

2) Annal. de Chimie et Phys. XXXIV.

3) Verhandl. der Naturforschergesellschaft in Basel. III. 1861.

4) Comptes rendus. LXXXIV.

5) Annal. de chimie et physique. [3.] XXXVII.

gehalt der atmosphärischen Luft zwischen 0,3—0,4 ‰ schwankt, fanden diese beiden Forscher 9—22 ‰. Diese Kohlensäure ist nun ebenfalls als Endproduct der Zersetzung organischer Verbindungen anzusehen. PETTENKOFER<sup>1)</sup> wies nach, dass sie nicht etwa dem Kohlensäuregehalt des Grundwassers ihre Entstehung verdanke, da nach experimentellen Untersuchungen die Menge der Kohlensäure, die dasselbe an die Bodenluft abgeben kann, um 48—50 % kleiner ist, als der von ihm gefundene Kohlensäuregehalt der Grundluft. Er zeigte ferner, dass dieser Kohlensäuregehalt seine Entstehung Vegetationsvorgängen im Boden und nicht etwa der Absorption aus der atmosphärischen Luft verdankt, da z. B. der Kohlensäuregehalt der Bodenluft im vegetationslosen Wüstenboden (in einer Tiefe von etwa 1 Meter) kein anderer ist, als der Kohlensäuregehalt der atmosphärischen Luft (nur mit 1 ‰), während die Luft aus dem vegetirenden Boden der Oase einen vermehrten Kohlensäuregehalt nachweisen liess<sup>2)</sup>.

MÖLLER<sup>3)</sup> und WOLLNY<sup>4)</sup> bestätigten diesen Befund und dessen Deutung auf experimentellem Wege, indem sie nachwiesen, dass die Luft im rein mineralischen, im ausgeglühten Boden nicht viel reicher an Kohlensäure sei als die Atmosphäre, dass dagegen Bodenarten, welche organische Beimengungen enthalten, eine stetige Quelle zur Bildung der Kohlensäure sind, so dass man durch Zuführung organischer Substanzen den Kohlensäuregehalt der Bodenluft beträchtlich erhöhen könne und dass diese Erhöhung annähernd gleichen Schritt halte mit dem grösseren Gehalte an organischen Substanzen im Boden.

Nitrification und Kohlensäurebildung sind also jene zwei Endprocesse, in welchen die Mineralisirung der organischen Substanzen culminirt, und welche also das hygienisch so bedeutungsvolle Problem der „Selbstreinigung des Bodens“ zur Lösung bringen; deshalb, aber auch wegen der mannigfaltigen Analogien und Beziehungen zu gewissen epidemiologischen Thatsachen verdienen sie unsere besondere Beachtung.

---

1) PETTENKOFER, Ueber den Kohlensäuregehalt der Grundluft im Geröllboden zu München. Zeitschrift für Biologie. VII.

2) Idem, Ueber den Kohlensäuregehalt der Luft in der Libyschen Wüste. Ebenda. XI.

3) MÖLLER, Ueber die freie Kohlensäure im Boden. Mittheilungen aus dem forstlichen Versuchswesen in Oesterreich. 1878. 2. Heft.

4) WOLLNY, Untersuchungen über den Kohlensäuregehalt der Bodenluft. Die landwirthschaftlichen Versuchsstationen. XXV.

Es ist nur als eine natürliche Consequenz der in den vorausgegangenen Capiteln geschilderten Vorgänge zu betrachten, dass alle oder fast alle der dort behandelten Factoren Einfluss auf den Ablauf dieser beiden Processe nehmen — so weit unsere bisherigen Erfahrungen und Untersuchungen reichen.

Nehmen wir zuvörderst den mineralogischen resp. chemischen Charakter des Bodens, so ersehen wir durch die Untersuchungen FITTBOGEN's<sup>1)</sup>, dass die Anwesenheit von kohlensaurem Kali ein Maximum der Nitrification herbeiführe, welchem dann in absteigender Reihe folgen: kohlensaurer Kalk, gebrannter Kalk, gebrannte Magnesia. Das Minimum gab kalkfreier Quarzsand. PICHARD<sup>2)</sup> hat mehrere Jahre später dann folgende Reihe aufgestellt. Ist die nitrificirende Kraft bei Zusatz von Calciumsulfat = 100, dann ist sie bei Zusatz von Natriumsulfat = 47,91, von Kaliumsulfat = 35,78, von Calciumcarbonat = 13,32, von Magnesiumcarbonat = 12,52. Dass es in dem an organischen Substanzen so reichen Torfboden überhaupt nicht bis zur Nitrification kommt, sondern die Zersetzung mit der Ammoniakbildung beendet ist, wurde schon S. 186 erwähnt; dabei ist aber beim Torf gegenüber dem mineralischen Boden zu beachten, dass die Zersetzung in demselben nur langsam fortschreitet und dass die organischen Stoffe (Alkaloide) lange in demselben nachweisbar blieben.

Für die Kohlensäurebildung tritt der chemische Charakter des Bodens weniger in den Vordergrund, wohl aber für die Ansammlung derselben (vergl. S. 195); insofern doch, als humusreiche Boden durch ihren Gehalt an organischen Substanzen auch eine ergiebige Quelle der Kohlensäurebildung darbieten.

Dass bei einem Vorgange, der auf einer lebhaften Sauerstoffaufnahme begründet ist, die Porosität und besonders auch die Permeabilität des Bodens für Luft eine Rolle spielen muss, ist erklärlich. Bezüglich der Nitrification liegt schon in den auf S. 186 angeführten Versuchen, die den Einfluss des Bodens überhaupt documentiren, ein Beleg hierfür. Es werden hier aber zwei Momente zu berücksichtigen sein. Der gesteigerte Luftzutritt, der durch die Permeabilität des Materials, durch Ventilation herbeigeführt werden kann, sodann aber die Möglichkeit, eine möglichst grosse Menge der organischen zu mineralisirenden Substanzen derart im Boden zu vertheilen, dass sie eine möglichst grosse Berührungsfläche mit dem

---

1) Landwirthschaftl. Jahrbücher. 1874.

2) Comptes rendus. XCVIII.



Sauerstoff der Luft erhält. Es wird also wieder die Grösse des Kornes, die absolute Wassercapacität, das Verhältniss des capillar zurückgehaltenen Wassers zur im Boden noch vorhandenen Luftmenge zu berücksichtigen sein.

Nach SOYKA <sup>1)</sup> hatte die Nitrification in vier durch ihre Kornresp. Porengrösse und durch ihre Wassercapacität verschiedenen Bodenarten (Münchener Glacialschotter) folgenden Ablauf genommen:

Korngrösse (Durchmesser)	Poren- volumen	Kleinste Wassercapa- cität in ‰ des Poren- volums	Gebildeter Stickstoff in Form von Nitriten und Nitraten an 1 Liter Harn	
			nach 18 Tagen	nach 36 Tagen
Meter			Mgrm.	Mgrm.
4—6	35,0	5,7	180	690
2—4	36,4	7,17	480	1090
1,2—2	36,9	13,6	680	—
0,6—1,2	37,9	29,8	860	1650

Auch PICHARD (l. c.) bemerkt, dass ein Boden, dessen Körner nur 1 Mm. Durchmesser besitzen, bedeutend rascher nitrificirt als ein grobkörniger von 1—3 Mm. Durchmesser.

Ganz analoge Resultate erhielt WOLLNY <sup>2)</sup> bezüglich der Kohlensäurebildung. Er verglich fünf nach ihrer physikalischen Structur verschiedene, sonst aber identische Bodenarten (Gemenge von Quarzsand und Torfpulver). Die Kohlensäurebildung nahm hierbei mit der Feinheit des Kornes nachweislich zu:

Korngrösse in Mm. . .	2—1,0	1,0—0,5	0,5—0,25	0,25—0,00	2—0,0
Gebildete Kohlensäure auf 1000 Vol. berechnet	1,08	1,39	1,89	2,49	1,86

Diese mit der Zunahme der Wassercapacität parallel einhergehende Steigerung in der Mineralisirung organischer Substanzen im Boden ist zum Theil darauf zurückzuführen, dass in den entsprechenden Bodenarten die Flüssigkeit auf einer grösseren Fläche der Einwirkung des Sauerstoffs ausgesetzt ist, zum Theil auch darauf, dass in den Bodenarten mit feineren Poren, mit einer grösseren Wassercapacität auch eine grössere Menge Flüssigkeit zurückgehalten wird.

1) SOYKA, Ueber den Einfluss des Bodens auf die Zersetzung organischer Substanzen. Zeitschrift für Biologie. XIV.

2) WOLLNY, Untersuchungen über den Einfluss der physikalischen Eigenschaften des Bodens auf den Gehalt an freier Kohlensäure. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. IV.

Es setzt aber voraus, dass stets ein gewisses Verhältniss zwischen Wasser und Luft aufrecht erhalten wird; ist die Menge des zurückgehaltenen Wassers derartig, dass sämtliche Hohlräume mit Wasser erfüllt sind, wird z. B. die Flüssigkeit in Ueberschuss aufgegossen und deren Abfluss gehindert, dann ist gewissermaassen die Porosität des Bodens eliminirt und mit ihr auch die begünstigende Wirkung auf die Mineralisirung. Es geht dies aus folgendem Versuche hervor<sup>1)</sup>:

Versuchsflüssigkeit		Unter	Nach
		Mitwirkung	Aufhebung
		der Porosität	
Harn 10 fach verdünnt	Erstes Auftreten von Nitriten	am 5. Tage	am 23. Tage
	= = = Nitraten	= 7. =	= 33. =
Harn 100 fach verdünnt	= = = Nitriten	= 5. =	= 10. =
	= = = Nitraten	= 5. =	= 27. =

Dem analog fanden SCHLÖSING und MÜNTZ<sup>2)</sup>, dass eine Austrocknung des Bodens die Nitrification verhindert, dass eine Steigerung mit dem Wassergehalte des Bodens einhergeht, so lange eben noch Luftcirculation möglich ist und dass mit dem Ueberschreiten dieses Punktes die Nitrification aufhört. Darauf beruht auch der günstige Erfolg der absteigenden, intermittirenden Filtration gegenüber der aufsteigenden continuirlichen.

Auch für die Kohlensäurebildung gelangen MÖLLER (l. c.) und WOLLNY (l. c.) zu dem Resultate, dass die Anwesenheit von Wasser zum Zustandekommen derselben unerlässlich ist, dass aber ein derartiger Ueberschuss an Wasser, welcher den Luftzutritt zu den Poren verhindert, die Kohlensäurebildung wieder herabsetzt.

Ein äusserer, in den wechselnden Bodenverhältnissen gelegener Factor, der ebenfalls von grosser Bedeutung für den Ablauf der Mineralisirung organischer Stoffe im Boden ist, ist die Temperatur. Es sind gewisse Temperaturintervalle, die auf die Mineralisirung der organischen Stoffe beschleunigend wirken.

Als unterste Grenze der Nitrification stellen SCHLÖSING und MÜNTZ<sup>2)</sup> eine Temperatur von  $+5^{\circ}$  auf, unterhalb dieser sei die Bildung von Nitriten und Nitraten gleich 0, bei  $12^{\circ}$  wird der Process bereits ein deutlich wahrnehmbarer und erreicht sein Maximum bei  $37^{\circ}$ ; von da erfolgt eine rasche Abnahme, so dass bei  $45^{\circ}$  be-

1) SOYKA l. c.

2) Comptes rendus. LXXXIX.

reits weniger Nitrate gebildet werden als bei 15°, bei 50° bilden sich nur Spuren, bei 55° hört die Bildung auf.

WARINGTON<sup>1)</sup> hat auch das zeitliche Moment in Berücksichtigung gezogen. Eine Lösung von 640 Mgrm. Salmiak im Liter war bei 10° in 78 Tagen nitrificirt, bei 30° in 19 Tagen. Eine Lösung von 18 Mgrm. im Liter war bei 10° in 31 Tagen, bei 30° in 12 Tagen nitrificirt.

Von der Kohlensäureproduction hat MÖLLER (l. c.) nachgewiesen, dass sie mit der Gefriertemperatur nahezu aufgehoben wird. Die Untersuchungen WOLLNY's (l. c.) führen dann den Beweis, dass dieselbe unter gleichen äusseren Verhältnissen im Allgemeinen mit der Temperatur steigt und fällt, und zwar hat noch eine Temperatur von 50° (WOLLNY) resp. 60° (MÖLLER) Einfluss auf die Kohlensäurebildung.

WOLLNY hat künstliche, mit Wasser imprägnirte Bodengemische, welche unter sonst gleichen Bedingungen in ihrer Kohlensäureproduction ausserordentliche Uebereinstimmung zeigten, verschiedenen Temperatureinflüssen ausgesetzt und hierbei folgende Resultate erzielt:

Kohlensäuregehalt für 1000 Volumen Bodenluft.

		Temperatur						
		-10°	± 0	10	20	30	40	50
2. Composterde	Wassergehalt 6,79%	—	—	2,03	3,22	6,86	14,69	25,17
2. { Kalksand mit	= 13,09%	—	—	5,42	11,56	20,73	32,04	42,42
3. { Torfpulver }	= 16,93%	1,21	2,09	3,14	4,01	5,69	—	—
4. Composterde	= 26,79%	—	—	18,38	54,24	63,50	80,06	81,52
5. "	= 43,13%	0,98	1,36	2,43	3,58	8,94	—	—
6. "	= 44%	—	—	2,80	15,46	36,24	42,61	76,32
7. "	= 46,79%	—	—	35,07	61,49	82,12	91,86	97,48

Die Kohlensäureproduction bei 50° übertrifft nach dieser Tabelle die bei 10° um das 3- bis 28fache.

Die Bedingungen für die Umwandlung der organischen Stoffe in mineralische liegen aber zum Theil auch in diesen selbst.

Zuvörderst wird sich schon ihre chemische Natur geltend machen, sowohl nach Schnelligkeit der Umwandlung als nach Art der Umwandlungsproducte. SOYKA<sup>2)</sup> hat gezeigt, dass manche der vom

1) Chem. News. XXXIX.

2) SOYKA, Selbstreinigung des Bodens. Untersuchungen zur Canalisation. München 1885.

Boden zurückgehaltenen Alkaloide ziemlich direct und rasch in Nitrate überführt werden, wie Strychnin, Pyridin, Cinchonin, andere dagegen, z. B. Chinin, erst eine längere Zeit als Ammoniak im Boden persistiren.

Dann aber kommt es wesentlich auch an auf die Art und Weise, wie sie dem Boden einverleibt werden, insbesondere auf den Concentrationsgrad der Lösung. Je concentrirter die Lösung, desto schwieriger wird nach den bisherigen Erfahrungen die Oxydation vor sich gehen, je verdünnter desto leichter (vergl. dagegen den Einfluss der Concentration auf die Absorption S. 183). Für die Nitrification liegt ein Beleg hierfür in den Versuchen SOYKA's<sup>1)</sup>. Harn wurde theils unverändert, theils in verschiedenartiger Verdünnung im Boden den gleichartigen günstigsten Bedingungen der Nitrification unterworfen mit folgendem Resultat:

Concentrationsverhältniss	Erstes Auftreten von Salpetersäure im Boden
Harn unverdünnt. . . = 100 %	nach 2 Monaten noch nicht nachweisbar
Harn zur Hälfte verdünnt = 50 %	" " " " " "
Harn . . . . . = 10 %	am 7. Tage
Harn . . . . . = 1 %	" 4. "

Es ist daraus ersichtlich, dass wir — durch einfache Concentrationsänderung — im Stande sind, den Ablauf der Processe wesentlich zu beschleunigen und auch vollständig zu sistiren, eine That- sache, die auch durch WARINGTON ihre Bestätigung fand.

Auf dieselben Ursachen ist wohl auch die Steigerung der Kohlen- säureproduction zurückzuführen, welche MÖLLER und WOLLNY bei Erhöhung des Wassergehalts des Bodens gefunden haben. Bei diesen Versuchen, in welchen lufttrockener Boden mit wechselnden Quanti- täten destillirten Wassers versetzt wurde, mussten offenbar die lös- lichen organischen Substanzen in wechselnde Concentrationsgrade gebracht worden sein. Je grösser der Wassergehalt, desto geringer die Concentration, desto verdünnter waren die Lösungen und desto grösser war auch die Kohlensäureproduction.

Die S. 191 angeführte Tabelle WOLLNY's über den Einfluss der Temperatur gibt uns auch ein Bild über den Einfluss der Feuch- tigkeit, wenn wir die senkrecht unter einander stehenden Zahlen mit einander vergleichen; wir haben dann die Kohlensäureproduction bei gleicher Temperatur und verschiedenem Wassergehalt.

1) Zeitschrift f. Biologie. XIV.



Doch sind nicht alle Zahlen vergleichbar, da nicht immer derselbe Boden zu Grunde liegt, und insofern sind nur die Versuche 1. 6. 7 zu einander in Beziehung zu bringen.

Dass schliesslich ein Zuviel des Wassers die Kohlensäureproduction wieder hemmt, ist wohl darauf zurückzuführen, dass dann die Porosität des Bodens eine zu grosse Einbusse erfährt, ja selbst aufgehoben wird.

Das endliche Schicksal, das die mineralischen Endproducte der organischen Substanzen erfahren, ist von selbst gegeben. Die Nitrates und Nitrite werden entweder von den Pflanzenwurzeln sofort aufgenommen, wie dies bei der Berieselung, bei der Bepflanzung des Bodens geschieht, oder aber sie werden, da sie nicht absorptionsfähig sind, allmählich durch die Niederschläge ausgelaugt und gehen so in unsere Grundwässer (Brunnen), Bäche, Flüsse über. Die Brunnenanalysen können uns deshalb, wenn sie systematisch durch längere Zeit vorgenommen werden, ein Bild über den Ablauf der Bodenverunreinigung und Selbstreinigung des Bodens geben.

Die Kohlensäure, ein gasförmiger Körper mit der Tendenz der Expansion und Diffusion, muss sich natürlich anders verhalten. Es ist, besonders durch die Untersuchungen PETTENKOFER's (vergl. S. 187), dem Vorkommen der Kohlensäure im Boden und deren periodischen Schwankungen eine grosse Aufmerksamkeit zugewendet worden und es liegen zahlreiche derartige, durch Jahre hindurch fortgesetzte Beobachtungen jetzt vor (PETTENKOFER, WOLFFHÜGEL, PORT in München, v. FODOR in Klausenburg-Budapest, FLECK in Dresden, NICHOLS in Boston u. s. w.).

Es lag nahe, aus der jeweiligen Kohlensäuremenge des Bodens einen Schluss auf die Grösse der Bodenverunreinigung zu ziehen. In gewissen Fällen ist dies auch richtig, so sehen wir dies in den Versuchen MÖLLER's (l. c.), WOLLNY's<sup>1)</sup> und SMOLENSKY's hervortreten.

Letzterer<sup>2)</sup> fand bei Kohlensäurebestimmungen der Grundluft, die fast zu gleicher Zeit im Münchener Boden gemacht wurden, folgende gewaltige Differenzen:

1) WOLLNY, Untersuchungen über den Kohlensäuregehalt der Bodenluft. Die landwirthschaftlichen Versuchsstationen. 1880.

2) J. SMOLENSKY, Ueber den Kohlensäuregehalt der Grundluft. Zeitschrift f. Biologie. XIII.

Versuchsstelle	Kohlensäure- gehalt der Grundluft in Volumpromille
1. Station im physiologischen Institut . . . . .	1,59
2. Neben der Abtrittsgrube einer Schule am Aengerwege . . . . .	21,96
3. Zwischen neuen Gräbern auf dem südlichen Gottesacker . . . . .	84,82
4. Theresienwiese, an einer beim Octoberfest als Pissoir dienenden Stelle	101,96

Hier, wo so ziemlich in allen vier Fällen die Bedingungen, unter denen gearbeitet wurde, so weit sie sich auf die Beschaffenheit des Bodens und der äusseren meteorischen Elemente beziehen, dieselben waren, findet die Bodenverunreinigung im Kohlensäuregehalt in der That einen höchst prägnanten Ausdruck. Es kann eben diese Coincidenz nur dann gelten, wenn alle anderen Verhältnisse die gleichen sind. Da nun aber so viele Factoren, wie Porosität, Permeabilität, Temperatur, Wassergehalt, Concentration, auf die Kohlensäureproduction einwirken, diese aber nicht immer genau nach ihrem Einflusse differenziert, genau abgewogen werden können, so erklärt es sich, warum der Kohlensäurebefund doch nicht als stricter Maassstab für die Bodenverunreinigung angesehen werden kann.

Für die Grösse der Kohlensäure, die bei Analysen der Bodenluft gefunden wurde, ist aber nicht blos die Kohlensäureproduction maassgebend, sondern auch die weiteren Schicksale der gebildeten Kohlensäure. Die Kohlensäure entströmt dem Boden und vermischt sich mit der atmosphärischen Luft und FODOR (l. c.) hat nachgewiesen, dass der Kohlensäuregehalt der Luft 2 Cm. über der Bodenoberfläche stets um das Doppelte oder fast um das Dreifache höher ist als in einer Höhe von 2 Metern. Dieses Ausströmen und Diffundiren der Kohlensäure in die oberhalb des Bodens befindliche Luft muss auf den quantitativen Befund der Kohlensäure im Boden von maassgebendem Einflusse sein. Je leichter der Austausch zwischen Bodenluft und atmosphärischer Luft zu erfolgen vermag, desto weniger wird es zu grossen Kohlensäureansammlungen im Boden kommen. Alle jene Momente nun, welche die Porosität und Permeabilität des Bodens für Luft beeinflussen, beeinflussen deshalb auch nicht nur die Kohlensäurebildung, wie S. 188 gezeigt wurde, sondern auch die Kohlensäureansammlung, also die wirklich nachzuweisende Kohlensäuremenge. Diese Momente sind der mineralogische Charakter des Bodens, die Porosität, die Permeabilität für Luft, der Wassergehalt, die Bedeckung des Bodens, die Temperatur, insbesondere die Beziehungen zwischen der Temperatur des Bodens und der der atmosphärischen Luft, die äusseren Luftbewegungen, die Winde.

Der mineralogische Charakter macht sich bei der Ansammlung der Kohlensäure nur insofern geltend, als er die Permeabilität des Bodens für Luft modificirt (vergl. S. 42) und fällt darin seine Rolle mit der, welche der Porosität und Permeabilität zugewiesen ist, zusammen. PETTENKOFER <sup>1)</sup>, FLECK <sup>2)</sup>, FODOR <sup>3)</sup>, NICHOLS <sup>4)</sup>, WOLFFHÜGEL <sup>5)</sup> haben nachgewiesen, dass es in einem sehr porösen und permeablen Boden in Folge der gesteigerten Diffusion und Durchlüftung des Bodens zu geringeren Kohlensäureanhäufungen kommt als in einem dichteren, weniger permeablen; deshalb findet sich auch in den oberen Bodenschichten meist weniger Kohlensäure als in den tieferen, wenn nicht etwa die durch Temperaturverhältnisse gesteigerte Kohlensäurebildung dieses compensirt. Der Wassergehalt des Bodens, dessen Steigerung zu einer Herabminderung der Permeabilität führt, muss unter Umständen auch zu einer grösseren Kohlensäureansammlung führen. LEWIS und CUNNINGHAM <sup>6)</sup> fanden bei ihren Kohlensäurebeobachtungen in Calcutta, dass daselbst in der Regenzeit die Verstopfung der Poren der oberen Bodenschichten zu einer gesteigerten Ansammlung von Kohlensäure führt. In ähnlicher Weise, besonders auf den Luftaustausch, wirkt auch die Pflanzendecke, doch modificirt diese auch die Kohlensäurebildung, indem sie auf die Temperatur und Feuchtigkeit des Bodens einwirkt (WOLLNY) <sup>7)</sup>.

Die Temperaturdifferenzen zwischen Bodenluft und atmosphärischer Luft bedingen ebenfalls den Luftwechsel. Im Winter ist der Kohlensäuregehalt der Grundluft nicht bloß deshalb viel geringer als im Sommer, weil vielleicht bei niedriger Temperatur weniger Kohlensäure gebildet wird, sondern auch, weil die über dem Boden liegende

---

1) PETTENKOFER, Ueber den Kohlensäuregehalt der Luft im Boden. Sitzungsberichte der k. k. Akademie. 1873.

2) FLECK, Boden- und Bodengasuntersuchungen. Jahresberichte der chem. Centralstelle für öffentl. Gesundheitspflege in Dresden. 1873 u. 1874.

3) FODOR, Experimentelle Untersuchungen über Boden und Bodengase. Deutsche Vierteljahrsschrift für öffentl. Gesundheitspflege. VII.

4) NICHOLS, On the composition of the Groundatmosphere. Ann. Report of the Massach. state Board of health. 1875.

5) G. WOLFFHÜGEL, Ueber den Kohlensäuregehalt im Geröllboden zu München. Zeitschrift f. Biologie. XV.

6) F. R. LEWIS and D. D. CUNNINGHAM, Cholera in relation to certain physical phenomena.

7) WOLLNY, Untersuchungen über den Einfluss der Pflanzendecke und der Beschattung auf den Kohlensäuregehalt der Bodenluft. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. III.

schwere Winterluft die wärmere Grundluft mehr verdrängt, und im Sommer sammelt sich mehr Kohlensäure im Boden, nicht nur, weil vielleicht mehr erzeugt wird, sondern auch, weil die darüber befindliche Atmosphäre wärmer und leichter als die Grundluft ist und diese viel weniger verdrängt und fortführt (PETTENKOFER).

Bezüglich des Einflusses der Winde schliesst schon PETTENKOFER aus seinen Untersuchungen, dass windige Tage den Kohlensäuregehalt der oberen Schichten verringern, und WOLFFHÜGEL<sup>1)</sup> findet durch anemometrische Beobachtungen, dass dem Sturme sowohl als auch den schwächeren Luftbewegungen in der Atmosphäre ein beständiges Wogen im Boden entspricht und dass die Luftbewegung im Freien ein fortwährendes Auswaschen der Grundluft mit atmosphärischer Luft hervorbringt.

Auf diese Weise etabliren sich im Kohlensäuregehalt des Bodens Schwankungen, die je nach dem Ueberwiegen des einen oder anderen, sei es für die Kohlensäurebildung, sei es für die Kohlensäureansammlung, maassgebenden Factors ihren Charakter aufgeprägt erhalten.

Im Grossen und Ganzen tritt doch ein Factor mächtiger in die Erscheinung, der den Rhythmus der Kohlensäurecurve zu beherrschen scheint, die Bodentemperatur. Vergleicht man den Ablauf der Kohlensäureschwankungen im Boden in verschiedenen Tiefen mit den in diesen Tiefen vor sich gehenden Temperaturschwankungen, so ersieht man eine gewisse Uebereinstimmung, auf die schon PETTENKOFER aufmerksam gemacht.

Es seien hier die 3jährigen Messungen FLECK's (l. c.) in Dresden angeführt (s. die Tabelle auf S. 197 und die Curve auf S. 198).

Der Parallelismus zwischen Kohlensäureschwankungen und Temperaturschwankungen ist besonders in der Tiefe von 2 und 4 Metern ein in die Augen springender; in der Tiefe von 6 Metern ist das Bild nicht mehr so prägnant, offenbar wirkt hier die Nähe des Grundwassers, das bereits in der Tiefe von 7 Metern sich zeigte, störend ein.

Dann sehen wir aber, dass, während die mittlere Bodentemperatur nur sehr unbedeutend mit der Tiefe zunimmt, der mittlere Kohlensäuregehalt dagegen sehr wesentlich ansteigt, in 4 Metern ungefähr das Doppelte des bei 2 Metern erreicht, in 6 Metern das 2 $\frac{1}{2}$  fache. Es hängt dies wohl damit zusammen, dass der Austausch

---

1) WOLFFHÜGEL, Ueber den Einfluss der Barometerschwankungen auf die Bodengase. Bericht der 50. Naturforscherversammlung in München. 1877.



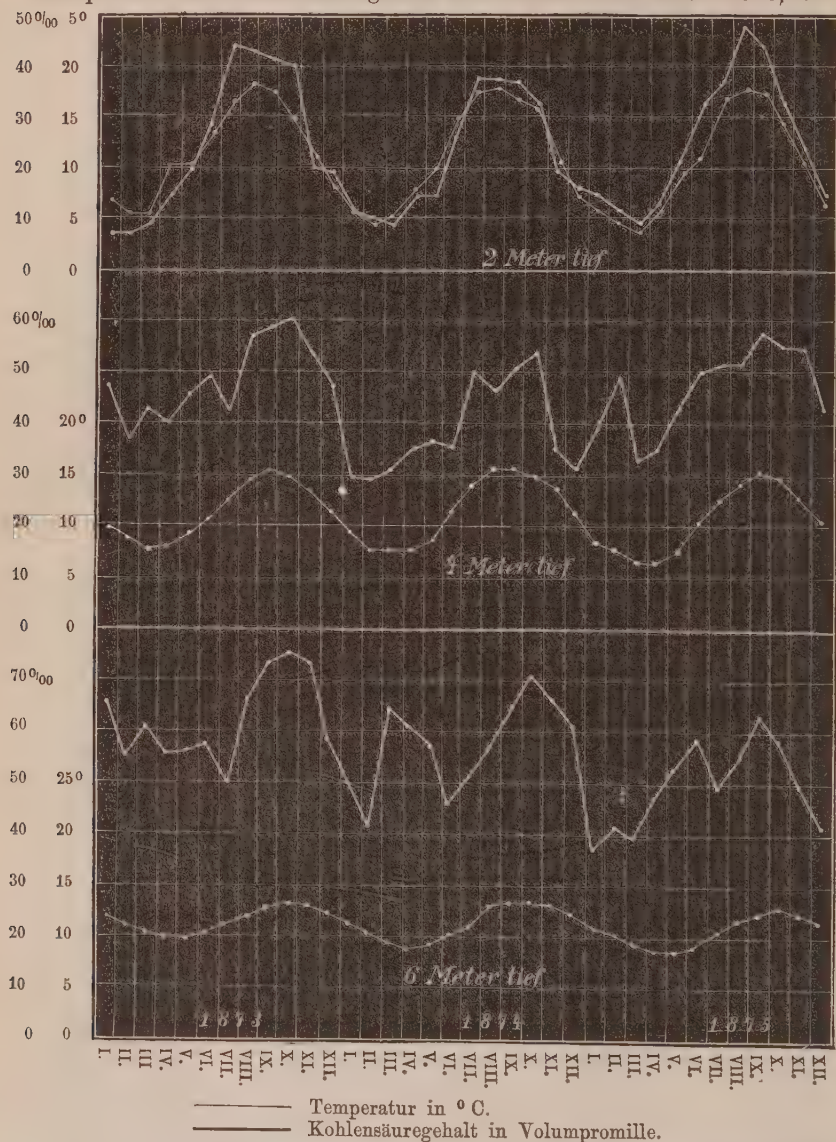
## Kohlensäure- und Temperaturbestimmungen im Boden.

(Temperatur in ° C., Kohlensäure in Volumpromille.)

	Tiefe von 2 Metern		Tiefe von 4 Metern		Tiefe von 6 Metern	
	Temperatur	Kohlensäure	Temperatur	Kohlensäure	Temperatur	Kohlensäure
1873						
Januar . . .	6,88	7,1	9,91	46,6	11,30	65,1
Februar . . .	5,30	7,0	8,58	36,6	10,48	55,1
März . . .	5,29	8,7	7,61	42,5	9,81	60,2
April . . .	10,19	14,5	7,86	39,9	9,36	55,0
Mai . . .	10,07	18,8	9,07	44,8	9,42	55,5
Juni . . .	13,28	28,4	10,45	48,3	9,83	56,5
Juli . . .	16,18	44,3	12,35	42,2	10,50	48,9
August . . .	18,09	43,5	14,23	56,6	11,54	66,0
September . . .	17,41	41,4	15,13	58,1	12,30	73,1
October . . .	14,84	39,8	14,64	60,1	12,75	75,1
November . . .	11,12	20,1	13,20	53,5	12,64	72,6
December . . .	8,01	19,3	11,28	47,3	12,01	56,8
Mittel . . .	11,39	24,4	11,19	48	10,99	61,6
Amplitude . .	12,80	37,3	7,52	20,2	3,39	26,2
1874						
Januar . . .	5,75	11,4	9,30	29,8	11,04	49,9
Februar . . .	4,82	10,1	7,82	28,6	10,05	41,2
März . . .	5,11	10,2	7,50	30,3	9,20	64,2
April . . .	7,61	14,3	7,36	34,7	8,82	62,5
Mai . . .	9,66	14,2	8,74	36,1	9,08	56,8
Juni . . .	14,70	26,1	11,40	35,1	9,96	45,5
Juli . . .	17,41	37,5	13,66	49,8	10,87	51,5
August . . .	17,66	37,7	15,56	45,9	12,86	56,6
September . . .	16,63	36,6	15,45	50,7	13,40	65,3
October . . .	15,67	32,0	14,90	53,9	13,17	70,9
November . . .	10,55	19,0	13,55	34,9	13,00	66,4
December . . .	7,28	15,2	11,22	31,1	12,20	61,2
Mittel . . .	11,07	22,0	11,29	38,4	11,14	57,5
Amplitude . .	12,84	27,6	8,20	25,3	4,58	29,7
1875						
Januar . . .	5,60	14,6	8,50	39,4	10,85	37,2
Februar . . .	4,63	11,4	7,85	48,8	10,20	41,0
März . . .	3,56	9,1	6,74	33,6	9,30	39,4
April . . .	5,89	13,6	6,60	35,1	8,67	46,7
Mai . . .	9,54	21,8	7,79	42,8	8,67	52,8
Juni . . .	10,98	32,6	10,28	50,3	9,01	58,4
Juli . . .	16,62	36,6	12,63	52,4	10,59	49,3
August . . .	17,88	48,3	14,08	51,8	11,86	55,4
September . . .	17,30	44,3	15,12	57,8	12,42	63,1
October . . .	14,40	32,4	14,80	55,4	12,90	58,4
November . . .	10,06	24,0	12,80	54,8	12,22	49,7
December . . .	6,30	14,2	10,40	43,1	11,67	40,9
Mittel . . .	10,23	25,2	10,63	47,1	10,7	48,9
Amplitude . .	14,32	39,2	8,52	24,2	4,23	23,7

Fig. 13.

Temperatur und Kohlensäuregehalt des Bodens in Dresden 1873/75.



in den oberflächlichsten Schichten am mächtigsten, in der Tiefe dagegen sehr behindert ist.

Während demgemäss der Rhythmus im Ganzen und Grossen Uebereinstimmung zeigt, fehlt die Uebereinstimmung bezüglich der

Grösse der Schwankungen, was sich besonders auch darin documentirt, dass die Schwankungen der Temperatur mit der Tiefe wesentlich abnehmen, die der Kohlensäure dagegen nur in geringfügigem Maasse.

---

## SECHSTES CAPITEL.

### Boden und niedere Organismen.

Entsprechend dem S. 7 entwickelten Gesichtspunkte hätten wir in dem Verhalten des Bodens und der niederen Organismen zu einander eine der Hauptaufgaben hygienischer Forschung anzusehen, durch welche es ermöglicht werden könnte, den grössten Theil jener Beziehungen, durch welche der Boden als ätiologisches Krankheitsmoment in die Erscheinung tritt, aufzuklären. Allein gerade auf diesem Gebiete, wo die physikalisch-chemische Bodenforschung und die biologische Pilzforschung combinirt in die Action zu treten haben, ist diese combinirte Forschungsmethode kaum in den Beginn der Thätigkeit getreten, wie aus der folgenden Darlegung ersichtlich wird.

Die hier in Betracht kommenden Verhältnisse führen zur Aufstellung folgender vier Gesichtspunkte:

1. Das Vorkommen von niederen Organismen im Boden selbst.
2. Das Eindringen derselben in den Boden.
3. Das Austreten aus demselben.
4. Die etwaigen Beeinflussungen des Lebens und der Lebens-thätigkeit niederer Organismen durch den Boden.

#### I. Das Vorkommen von niederen Organismen im Boden.

Dass im gewöhnlichen Boden niedere Organismen in reichlicher Anzahl vorkommen, ist bei der Ubiquität dieser letzteren und bei den vielfachen Wechselbeziehungen, in welche der Boden mit organismenführenden Gasen und Flüssigkeiten tritt, fast selbstverständlich, ja die niederen Organismen werden sogar mit als die schwer zu entbehrenden Vermittler der Vegetation höherer Pflanzen betrachtet, deren Aufgabe darin zu bestehen hat, die complexen organischen Verbindungen, die bei der Düngung in den Boden gelangen, erst in einfachere überzuführen, die erst von den Pflanzen aufgenommen werden können. DUCLAUX <sup>1)</sup> hat Versuche angestellt, bei

---

1) Comptes rendus. C.



welchen er unter Abhaltung aller Keime niederer Organismen einen sterilisirten Boden mit keimfreien, organischen Substanzen, Milch, Zucker, Stärkekleister, tränkte und sodann (mit Erbsen oder Bohnen) besäete. Diese Pflanzen schienen während dieser Versuchsperiode unfähig zu sein, von diesen Substanzen zu leben, sie blieben ebenso dünn und dürrig, wie in reinem Wasser keimende; ihr Gewicht in trockenem Zustande war stets geringer als das Gewicht des Samens, und zwar um so geringer, je länger sie am Leben erhalten wurden. Wenn wir ausserdem in Betracht ziehen, dass nach den Versuchen von BOUCHARDAT <sup>1)</sup> und CLOËZ <sup>2)</sup> die Lösungen der gewöhnlich benutzten Ammoniaksalze den Pflanzen keinen assimilirbaren Stickstoff liefern und dass Lösungen von  $\frac{1}{1000}$ , ja selbst  $\frac{1}{10000}$  dieser Salze, wenn sie von den Wurzeln aufgesaugt werden, als energische Gifte wirken und die Pflanzen bald ertödteten, so dass man zu der Annahme geführt wird, das Ammoniak müsse der Pflanze in einer besonderen Form, vielleicht in ganz verdünntem Zustande, dargeboten werden oder vorher in die salpetersaure Verbindung überführt werden, und wenn wir mit dieser letzteren Annahme die freilich nur indirecten Beweise der organisirten Natur der Nitrificatoren in Zusammenhang bringen, so wird die vermittelnde Rolle, die die Lebensthätigkeit niederer Organismen mit Rücksicht auf die Vegetation der höheren Organismen spielt, und damit ihre fundamentale Bedeutung für den Haushalt der Natur wohl einleuchtend.

Die Verbreitung der Organismen im Boden muss sowohl mit Rücksicht auf die örtliche Vertheilung im Boden, als auch in Bezug auf die Menge und die Arten der Organismen studirt werden.

Quantitative Bestimmungen über die Zahl der in einem bestimmten Boden vorkommenden Organismen sind nur in sehr geringer Zahl vorhanden. MIQUEL fand in Montsourris 0,20 Meter unter dem Rasen des Parkes 700 000 Schizophyten per Gramm Boden, in einer seit 10 Jahren mit Pariser Abwässern irrigirten Erde 0,10—0,12 Meter tief 870 000, in einem gedüngten Boden, aber ohne Irrigation, 900 000. BEUMER <sup>3)</sup> fand in 1 Cbcm. ziemlich stark verunreinigten Bodens bis 45 Millionen entwicklungsfähige Keime.

Derartigen Zahlenangaben, die auch nur gewissermaassen Minima repräsentiren, können nur in einzelnen Fällen, wo es sich um Vergleiche handelt bei Gleichheit der übrigen Bedingungen, eine gewisse Bedeutung zugesprochen werden. Sollen sie allgemein verwerth-

1) Mémoire sur l'influence des composés ammoniacaux sur la végétation.

2) Leçons de la Société chimique. 1861.

3) Deutsche medicin. Wochenschrift. 1886.



bar sein, so ist noch die Differenzirung nach ihrer pathogenen oder nichtpathogenen Natur, die fernere Sonderung und Mengenbestimmung der einzelnen Arten nothwendig, ferner die Unterscheidung nach der biologischen Individualität, ob die Organismen in ihren vegetativen oder ihren Dauerformen vorhanden sind, endlich auch die Entscheidung, ob der jeweilige Reichthum an Organismen auf eine im Boden erfolgte frische Proliferation zurückzuführen ist oder nicht.

Die Vertheilung der Organismen im Boden erfolgt sowohl nach der Fläche als auch nach der Tiefe, wohl hauptsächlich bedingt durch die Bewegung von Flüssigkeiten; die Bewegung von Gasen, wie die der Luft scheint einen weit geringeren Einfluss zu nehmen, und wohl ebenso auch die durch Eigenbewegung und ferner durch Proliferation der Organismen selbst hervorgerufene Ortsbewegung resp. Verbreitung.

Wenn nun zwar für das Eindringen der Organismen in die Tiefe hauptsächlich der Wassertransport verantwortlich gemacht werden muss, so wird allerdings für den späteren Befund von Organismen in gewisser Tiefe auch die Lebens- und Conservirungsfähigkeit solcher Organismen unter denjenigen Bedingungen, die sich eben in gewissen Tiefen vorfinden, maassgebend sein. Es ist besonders zu berücksichtigen, dass in dem porösen Boden die Zusammensetzung der Bodenluft in der Tiefe eine andere ist als in der oberflächlichen Schicht, dass der Sauerstoffgehalt eine relative und auch absolute Abnahme erfahren, ja selbst vollständig verschwinden kann, dass dagegen der Kohlensäuregehalt, sowie der Gehalt an anderen Gasen, eine mitunter sehr bedeutende Zunahme erfährt (S. 69 ff.). Auf diese Weise werden manche Pilze bereits in geringer Tiefe auf Verhältnisse stossen, die ihnen ihre Existenz unmöglich machen, während andere, z. B. gewisse Anaeroben, vielleicht erst unter diesen Umständen zur Entwicklung gelangen.

Ueber die quantitativen Verhältnisse, soweit es sich um die Verbreitung der Organismen in der Tiefe handelt, liegen Untersuchungen von KOCH<sup>1)</sup> vor, denen er jedoch, mit Rücksicht auf die geringe Zahl derselben, keine Allgemeingiltigkeit zuschreibt. Es zeigte sich, dass die oberen Erdschichten ausserordentlich reich an Mikroorganismen sind, dass aber dieser Reichthum an Mikroorganismen im Erdboden nach der Tiefe sehr schnell abnimmt, und dass kaum 1 Meter tief der nicht umgewühlte Boden fast frei von Bakterien ist;

---

1) KOCH, Zur Untersuchung von pathogenen Organismen. Mittheilungen aus dem k. Gesundheitsamte. I.

selbst inmitten von Berlin, in Erdproben, die frisch aufgeworfenem Baugrunde — allerdings im Winter — entnommen waren, fanden sich in der Tiefe von 1 Meter keine Bacillen und nur ganz vereinzelte Colonien von sehr kleinen Mikrokokken nach der Aussaat auf Nährgelatine. Mit Rücksicht auf diese Umstände, da ja wenigstens die Dauerformen sich hätten nachweisen lassen müssen, findet KOCH es fraglich, ob in den tieferen Bodenschichten viele Mikroorganismen existiren. Bei gewissen Bodenarten, welchen organismenreiche Flüssigkeiten direct zugeführt wurden, scheint dies aber doch der Fall zu sein. Untersuchungen, die in Paris<sup>1)</sup> in verschiedenen Bodentiefen in der Nähe der äusseren Wand eines Sammelkanals gemacht wurden, der seit einem Jahrhundert die Dejectionen einer Kaserne in die Seine führt, ergaben:

in einer Tiefe von 1 Meter an der Kanalwand:

64000 Mikroorganismen pro Gramm Boden,

in einer Tiefe von 2 Metern im äusseren Niveau der Sohle:

1000 Mikroorganismen pro Gramm Boden.

Einen noch grösseren Reichthum constatirte BEUMER im Greifswalder Boden; er fand in einem stark verunreinigten Terrain in einer Tiefe von 3 Metern (sandiger Humus mit Vivianit) 44—45 Millionen pro Cbcm., in einer Tiefe von 4 Metern (Geschiebemergel) 10 Millionen, von 5 Metern 8 Millionen, von 6 Metern 5 Millionen. In einem anderen Bohrloch (in sandigem Geschiebemergel) fand er in der Tiefe von 4, 5 und 6 Metern je  $1\frac{1}{2}$  Millionen Keime pro Cbcm., in einem dritten, im Garten befindlichen Bohrloch (Geschiebemergel) bei 4 Met. Tiefe  $\frac{3}{4}$  Million Keime, bei 5 Meter Tiefe 384 000 Keime, bei 6 Meter Tiefe 210 000 Keime. In einem Kirchhofsboden, in der Nähe von Leichen, die  $1\frac{1}{2}$  und 19 resp. 35 Jahre im Boden lagen, fand er bei 4' Tiefe (humöser Sand) 1 248 000 Keime pro Cbcm., bei 5' Tiefe (derselbe Boden) 1 344 000, bei 6' Tiefe (gelblich-grauer Lehm) 260 000 Keime im Cbcm. Ein vergleichender Versuch im nicht verunreinigten Dünsand der Insel Rügen liess in Tiefen von 3—5' nur 1000—2000 entwicklungsfähige Keime im Cbcm. entdecken, ein Beleg dafür, dass die Bodenverunreinigung auch wirklich den Pilzgehalt des Bodens steigert.

Von Bedeutung scheint zu sein, dass Mikrokokken und Bacillen nicht gleichmässig im Boden vertheilt sind. KOCH (l. c.) findet, dass der auffallend grosse Reichthum an Organismen der obersten Erdschichten vorwiegend auf Rechnung der Bacillen zu schreiben ist. In ganz

---

1) Encyclopaedie chimique. IX. 1. Microbiologie par DUCLAUX. 89.

frisch entnommener Erde finden sich daneben auch Mikrokokken, aber fast immer in der Minderzahl. In Erdproben, die stark verunreinigten Stellen, z. B. einem mit Düngerjauche imprägnirten Orte, entnommen waren, übertrafen die Mikrokokken die Zahl der Bacillen, und es traten auch Schimmelpilze auf, das ist aber nur ein locales Vorkommen. Die Bacillen dagegen scheinen in den oberen Culturen von bewohnten Gegenden und überall, wo Garten- und Ackerbau getrieben wird, ganz constant und immer in grosser Menge vorzukommen, sie fanden sich im Thierarzneischulgarten in Berlin ebenso reichlich als in der Erde eines nicht mehr benutzten Begräbnissplatzes, in Bodenproben von Gärten und Aeckern, weit entfernt von bevölkerten Stellen.

Um die verschiedenen im Boden sich findenden Organismen nach ihren verschiedenen Arten zu specificiren, würde sich vom hygienischen Standpunkte als Eintheilungsprincip die Unterscheidung in saprophytische und parasitische resp. pathogene Mikroorganismen empfehlen. Die Existenz beider Arten im Boden ist nachgewiesen.

Zu den Saprophyten werden wir jene Organismen zu zählen haben, die die Umwandlung des organischen Stickstoffs in Nitrite und Nitrate, die Umwandlung des organischen Kohlenstoffs in Kohlensäure, die Reduction der Nitrate zu Nitriten und auch zu Ammoniak vermitteln (vergl. Cap. V). Allein die Existenz derselben im Boden ist bisher weniger durch directen Nachweis derselben oder gar durch Reincultur derselben erwiesen, als vielmehr indirect durch gewisse Eigenthümlichkeiten dieser Processe erschlossen.

Die auf S. 183 ff. geschilderten Vorgänge der Selbstreinigung des Bodens, soweit es sich um Nitrification und Kohlensäurebildung handelt, werden nämlich als das Product der Lebensthätigkeit niederer Organismen auf Grund folgender Beobachtungen und Experimente hingestellt.

1. Durch Anwendung hoher Temperaturen, welche die im Boden vorhandenen Keime von Organismen zerstörte, und bei fernerer Abhaltung der Keime aus der Luft wird die Nitrification aufgehoben. SCHLÖSING und MÜNTZ<sup>1)</sup> erhitzen verschiedene Proben von Ackererden im Oelbade auf 100°. Die eingeschlossene Luft wurde sodann durch andere Luft ersetzt, welche vorher durch rothglühende Metallröhren geleitet war. Nach mehreren Wochen konnte man constatiren, dass alle erhitzten Erden ihr Nitrificationsvermögen verloren hatten, die anderen nicht erhitzten dagegen nicht. Dagegen kann eine auf 100° erhitzte Erde ihr Nitrificationsvermögen durch frische Aussaat wieder erlangen. Ein Gemenge von Quarzsand und humussaurem Kalk wurde in zwei Gefässe gebracht und beide eine Zeit lang auf 100° erhitzt. Hierauf wurde der Sand in dem einen Gefäss mit einigen Cubikcentimetern Wasser, in welchen man 1 Grm.

1) Comptes rendus. LXXXV.





Bodens in Flüssigkeiten, eine chemisch minder eingreifende Procedur, werden wieder jene Lufthüllen, die an den einzelnen Bodenpartikeln mit grösster Zähigkeit haften (S. 76), entfernt, und dadurch ein Factor, der Contact der Flüssigkeit mit Luft auf grosser Oberfläche, beseitigt, der, wie wir aus den Versuchen S. 189 gesehen haben, von grosser Bedeutung ist.

Endlich sind auch die Folgen der Abhaltung des Luftstaubes vielleicht nicht ganz auf seine organisirte Natur, sondern auch auf seine physikalischen Eigenschaften zu schieben. Wir wissen, dass der Staub mit Rücksicht auf die Condensation von Flüssigkeiten eine grosse Rolle spielt, insofern er die Bildung von Nebelbläschen bedingt (AIRKIN <sup>1)</sup>), dass er ferner zu der Entbindung von in Flüssigkeiten gelösten Gasen aus diesen ersteren einen wesentlichen Impuls gibt <sup>2)</sup>, dass er bei der Krystallisation mitwirkt, und dass er, wie es scheint, auch bei der Blutgerinnung theilhaftig ist <sup>3)</sup>, so dürfen wir denn die eine physikalisch-chemische Rolle, die er etwa bei diesem, mit Contactwirkungen einhergehenden Prozesse spielen dürfte, nicht völlig ausser Acht lassen.

Allein für die organisirte Natur des Nitrificationsprocesses sprechen noch andere Motive.

2. Nach Versuchen von MÜNTZ <sup>4)</sup> sollen Chloroformdämpfe eigenartig auf organisirte Fermente wirken. Die Thätigkeit derselben wird durch Chloroformdämpfe vollkommen aufgehoben, die der nicht organisirten, ungeformten Fermente dagegen nicht geheimer.

SCHLÖSING und MÜNTZ <sup>5)</sup> liessen durch eine lange, weite, mit Quarzsand und etwas Kalk gefüllte Röhre Abfallwässer langsam hindurchfliessen, nach einiger Zeit etablirte sich eine starke Salpetersäurebildung; nun wurde der Boden mit Chloroform geschwängert, alsbald hörte die Salpeterbildung auf und stellte sich auch 4 Wochen nachher, nachdem alles Chloroform beseitigt war, nicht wieder ein, sondern erst nachdem wieder etwas frische Gartenerde auf den Sand gestreut worden war.

Dieser Versuch wurde von WARINGTON <sup>6)</sup> mit demselben Erfolge wiederholt, ja auch noch dahin erweitert, dass er zeigte, dass Schwefelkohlenstoff dieselbe Wirkung habe, ebenso auch alle fäulnisshemmenden Mittel, welche auf organisirte Fermente vernichtend wirken.

Diese Aufhebung der Oxydation organischer Substanzen im Boden mit Hilfe von antimycotischen Stoffen hat sodann WOLLNY <sup>7)</sup> auch für die Kohlensäureproduction, wenigstens bis zu einem gewissen Grade, nachgewiesen. Aus einem künstlich aus Composterde hergestellten Boden, bei welchem die Kohlensäureproduction zwischen 26,7—41,9 Volumpromille schwankte (durchschnittlich 38,1 Volumpromille) wurde dieselbe durch Einleiten von Chloroform auf 24,8—11,3 (durchschnittlich 16,5) herab-

1) Nature.

2) KNOP, Chem. Centralblatt. 1883.

3) FREUND, Wiener medicin. Jahrbücher. 1886.

4) Comptes rendus. LXXX.

5) Ibidem. LXXXIV.

6) Chem. News. XXXVI.

7) Die landwirthschaftlichen Versuchsstationen. XXV.

gemindert. Zu einer vollständigen Aufhebung der Kohlensäureproduction kam es jedoch nicht.

3. Auch der bei der Nitrification wie bei der Kohlensäurebildung constatirte Einfluss der Temperatur, der auch nur innerhalb einer gewissen, geringen Schwankung begünstigend für beide Processe wirkt (S. 190), wird als ein indirecter Beleg für die organisirte Natur des Erregers dieser Vorgänge angesprochen.

4. SCHLÖSING und MÜNTZ<sup>1)</sup> haben endlich auch versucht, dasjenige Postulat zu erfüllen, das hier, wo es sich um aërobe, saprophytische Pilze handelt, als ein unerlässliches angesehen werden muss; sie haben den betreffenden Organismus isolirt darzustellen versucht.

Sterilisirte Nährlösungen (Abfallwässer oder künstliche alkalische Nährlösungen) wurden mit etwas Erde inficirt und unter Luft Einfluss bei geeigneter Temperatur gehalten; es begann nach einiger Zeit die Nitrification und man erblickte dann in der Flüssigkeit neben einigen Infusorien zahlreiche, längliche Gebilde, welche eine grosse Aehnlichkeit mit den von PASTEUR beschriebenen *Corpuscules brillants* (Sporen) hatten. Indem SCHLÖSING und MÜNTZ dann solche in der Nitrification begriffene Flüssigkeiten zur Aussaat in andere Nährlösungen benutzten, erhielten sie Flüssigkeiten, in denen sich Nitrate bildeten, ohne dass andere als die genannten Organismen darin erblickt werden konnten, und es scheint ihnen zweifellos, dass in diesem Organismus das Salpeterferment zu erblicken ist.

Dieses entwickelt sich in verschiedenen Medien in gleicher Weise, doch wird es in solchen, die reich an organischen Stoffen sind, ein wenig grösser, bleibt aber stets sehr klein. Es vermehrt sich langsam, weshalb die Nitrification selbst anfangs langsam, später schneller verläuft. Es scheint sich durch Sprossung fortzupflanzen und ist nicht sehr widerstandsfähig. Eine Temperatur von 100° und selbst 90° genügt, um es nach 10 Minuten zu tödten; Eintrocknen, selbst bei gewöhnlicher Temperatur, ist ihm schädlich. Erde, welche in sehr lebhafter Nitrification begriffen ist, kann durch Austrocknen vollständig steril gemacht werden (das würde auf die Abwesenheit von Dauerformen schliessen lassen).

Die jetzige Methode der Reinculturen stellt an die Reindarstellung und Charakterisirung eines Pilzes strengere Anforderungen, denen die hier angeführten, zum Theil widerspruchsvollen Angaben nicht genügen, und insofern können wir nicht zugeben, dass die Natur des Salpeterfermentes bereits genau erkannt ist, macht ja auch DUCLAUX<sup>2)</sup> die Bemerkung: „der Organismus, dem SCHLÖSING und MÜNTZ die nitrificirende Eigenschaft zuschreiben, ist so klein, dass dieselben ihn noch nicht isolirt zu haben scheinen; es wäre schwer zu entscheiden, ob es sich um eine oder um mehrere Species mit denselben Eigenschaften handelt“. Immerhin werden wir jedoch den organisirten Charakter desselben streng im Auge behalten und die hohe Bedeutung der Thatsache zu würdigen verstehen, dass die Selbstreini-

1) Comptes rendus. LXXXIX.

2) Encyclopaedie chimique. IX. Chimie biologique. 1. section Microbiologie.

gung des Bodens wahrscheinlich in der Lebensthätigkeit niederer Organismen gelegen ist.

Auf analogem, die Zweifel nicht völlig ausschliessendem Wege haben DEHÉRAIN und MAQUENNE <sup>1)</sup> und gleichzeitig GAYON und DUPETIT <sup>2)</sup> im Boden ein anaërobes reducirendes Ferment gefunden, kleine bewegliche Stäbchen, welche in Hühnerbrühe mit 60 Grm. salpetersaurem Kali im Liter mit Beschränkung oder Abschliessung der Luft ausgesäet bei 35° Trübung und Umwandlung aller Nitate in Nitrite bewirken.

DEHÉRAIN und MAQUENNE erzeugten Gährung im Boden durch Zusatz von Zucker und salpetersaurem Kali, sie glauben die Buttersäuregährung erzielt zu haben, ohne jedoch den Nachweis der spec. Organismen zu liefern. Wenn man das Gas aufammelt, welches sich aus einer Probe Ackererde entwickelt, die vor Luftzutritt vollkommen bewahrt ist, so findet man, dass es sich aus Kohlensäure, Stickoxydul, Stickstoff und Wasserdampf zusammensetzt. Die in der Erde vorhanden gewesenen Nitate wurden also zerstört, reducirt.

Nach denselben Methoden, die SCHLÖSING und MÜNTZ angewendet haben, wurde der Nachweis der organisirten Natur dieser Gährungserreger zu liefern gesucht. Die reducirende Fähigkeit der Erde geht verloren durch Erhitzen derselben, durch die Anwendung von Chloroformdämpfen, von Kupfersulfat, nicht aber durch die Wirkung der Carbonsäure und Salicylsäure, selbst bei Anwendung stärkerer Dosen als sie sonst zu antiseptischen Zwecken verwendet werden, ja diese Säuren verschwinden sogar allmählich. Andererseits aber wird die reducirende Fähigkeit wieder hergestellt durch Vermischung mit normaler Erde. DEHÉRAIN und MAQUENNE stellen den *Bacillus amylobacter* oder *Bacillus VAN TIEGHEM*, das *Clostridium butyricum* oder *Bacillus butyricus*, Ferment butyrique (PASTEUR) als die für diese Processe maassgebenden Organismen hin.

Endlich macht auch HOPPE-SEYLER <sup>3)</sup> auf einen organischen Auflösungsvorgang aufmerksam, der sich in ausserordentlich grosser Verbreitung vollzieht und langsam, aber im grossartigsten Maassstabe, Metamorphosen und Neubildungen von Gesteinsschichten und Erzgängen vollzieht, der in Folge der Umstände, dass er bei niederen Temperaturen sistirt, bei Erhöhung derselben wieder beginnt, dass dessen dauernde Beseitigung durch Erhitzen über 60°, sowie durch Zusatz von antiseptischen Substanzen hervorgerufen werden kann, zu den Gährungsvorgängen zu zählen ist und welcher in einer Zersetzung organischer Stoffe, in einem mit Wasser durchtränkten Boden bei völliger Abwesenheit von Sauerstoff unter Bildung von Methan und Kohlensäure besteht.

Diese Thatsachen im Verein mit den für die Nitrification gefundenen bieten einen höchst interessanten Einblick in den Kreislauf des Stoffes, der sich im Boden abspielt, und in die Rolle, welche

1) Comptes rendus. XCV.

2) Ibidem.

3) Zeitschrift für physiologische Chemie. X.



den niederen Organismen hierbei zufällt; scheint doch auf diese Weise die Gefahr eines Stillstandes in der chemischen Umwandlung im Boden ausgeschlossen, insofern, als in dem Momente, wo die aëroben Pilze durch ungünstige Umstände in ihrer Lebensthätigkeit behindert sind, auch sofort die Anaëroben in Thätigkeit treten können.

Neben diesen saprophytischen Mikroorganismen sind aber im Boden auch Organismen nachgewiesen worden, welche pathogene Wirkungen auszuüben vermögen. Wir müssen aber diese Befunde nach zwei Richtungen hin auseinander halten. In dem einen Falle kann es sich um Organismen handeln, die ziemlich constant als Beimengungen des Bodens aufzufassen sind, die vielleicht auch berufen sind, im Stoff- und Kraftwechsel der Natur eine gewisse Rolle zu spielen, die aber, eingeführt in den menschlichen oder thierischen Organismus, Gesundheitsstörungen leichter oder schwererer Natur oder selbst typische Krankheitsbilder hervorrufen können.

In dem anderen Falle dagegen kann es sich um Organismen handeln, die wir für gewöhnlich nicht als Bewohner des Bodens nachweisen können, die kraft ihrer pathogenen Eigenschaften auf den thierischen Organismus angewiesen scheinen, sich aber zu gewissen Zeiten und an gewissen Orten im Boden vorfinden.

Es sei zugestanden, dass diese Unterscheidung vielleicht eine künstliche und den biologischen Eigenschaften der Organismen nicht völlig entsprechende ist. Es ist nicht unmöglich, dass manche unserer pathogenen Organismen im Boden einfach die Rolle von saprophytischen übernehmen, ist ja umgekehrt doch von manchen pathogenen Organismen nachgewiesen, dass sie unter Umständen Gährungen oder Oxydations- und Reductionsprocesse hervorrufen können. Im Allgemeinen sind jedoch die Ernährungsbedingungen der pathogenen Organismen doch etwas diffcilerer Natur, ihre Widerstandsfähigkeit gegenüber den Saprophyten eine viel geringere, so dass sie wohl leicht zu Grunde gehen.

Von den pathogenen Pilzen, die sich nun im bewohnten Boden derart leicht und häufig nachweisen lassen, dass eine gewisse Constanz ihres Vorkommens angenommen werden muss, ist zunächst der *Vibrio septique* (PASTEUR) resp. der *Bacillus* des malignen Oedems (KOCH) zu nennen.

Von der Absicht ausgehend, den Milzbrandkeim in der Ackererde in der Nachbarschaft der Stellen, wo Milzbrandcadaver verscharrt waren, nachzuweisen, pulverisirte PASTEUR <sup>1)</sup> die verdächtige

---

1) Bulletin de l'Académie. Séance du 1. Février 1881.



Erde, um die feineren Theile abzuscheiden. Das Wasser, mit dem die letzteren abgeschlemmt wurden, wurde sodann ruhig sich selbst überlassen und der sich bildende Bodensatz einige Minuten auf 90° erhitzt und dann in kleinen Portionen injicirt. In diesen Fällen starb das geimpfte Thier häufig unter Symptomen, die an einen Fäulniß-process erinnern und die durch die Injection mit einem Pilz, einem „Vibrio septique“, hervorgerufen sind.

KOCH <sup>1)</sup> und später GAFFKY <sup>2)</sup> haben die Krankheit auf dieselbe Weise, durch Einimpfung einer geringen Menge Gartenerde, hervorgerufen, und KOCH sie als „malignes Oedem“ genau charakterisirt. Diese Bacillen resp. ihre Sporen sind zufolge seiner Untersuchungen anscheinend weit verbreitet und finden sich vorzugsweise nebst anderen Bacillenarten in den oberen Culturschichten des Erdbodens. Es sei hierbei darauf aufmerksam gemacht, dass sich nach einiger Zeit diese Organismen nur als resistente Dauerformen vorfinden.

Ein anderer pathogener Organismus wurde von NICOLAIER <sup>3)</sup> im Boden nachgewiesen. Bei Impfung mit manchen Erdproben gelang es ihm, bei Mäusen, Kaninchen und Meerschweinchen einen, fast stets tödtlich verlaufenden Symptomencomplex hervorzurufen, der als Tetanus anzusprechen ist, und durch feine, schlanke, ausserhalb der thierischen Körper cultivirbare Bacillen hervorgerufen wird, die nun von ROSENBAACH <sup>4)</sup> auch beim menschlichen Tetanus als anwesend und überimpfbar constatirt wurden. Diese Bacillen, die von NICOLAIER in Göttinger Erde, von SOCIN <sup>5)</sup> in Basler Gartenerde constatirt wurden, sind nach NICOLAIER in den oberen Schichten des städtischen und Culturbodens ausserordentlich verbreitet. Von 18 untersuchten Erdproben ergaben 6 ein stets negatives Resultat; diese waren theils Waldboden, theils dem wenig verunreinigten Hofraum des hygienischen Instituts entnommen. Die infectiöse Erde stammt theils aus Gärten, Höfen, von der Strasse, von Aeckern, von einem Rieselfelde. Auch die an Kartoffeln und anderen Feldfrüchten anhaftende Ackererde wurde in dieser Weise infectiös befunden. Alte, seit Jahren aufbewahrte Proben von Berliner und Leipziger Strassenboden, ferner Erde aus Wiesbaden lieferten ebenfalls charakteristische Tetanusfälle.

(In denselben Erden fanden sich auch hier und da Sporen der Bacillen des malignen Oedems.)

1) Mittheilungen des k. d. Gesundheitsamtes. I. 2) Ibidem.

3) Ueber infectiösen Tetanus. Deutsche medicin. Wochenschrift. 1884.

4) Bericht über den XV. deutschen Chirurgen-Congress. Centralblatt für Chirurgie. 1886. 5) Ibidem.

Es lässt sich aus den vorhandenen Untersuchungen nicht vollständig der Beweis liefern, dass diese beiden pathogenen Organismen ursprünglich dem Boden nicht eigenthümlich sind, sondern erst als Verunreinigungen in denselben gelangen, mag das Vehikel ein festes (Staub), ein flüssiges oder gasförmiges sein; wahrscheinlich wird jedoch diese Annahme, wenn wir erwägen, dass die Bacillen des malignen Oedems in faulenden Flüssigkeiten, im Staub der Luft sehr verbreitet sind, dass die Tetanusbacillen sich im wenig verunreinigten und im Waldboden nicht gefunden haben. Aus dem Umstande, dass sich die Bacillen im Boden meist in der Form von Sporen finden, glaubt KOCH<sup>1)</sup> schliessen zu können, dass dieselben mit wirthschaftlichen Abfällen, Düngstoffen und Producten der Fäulniss und Zersetzung in die Erde gelangen; da die beiden hier erörterten Bodenbacillen Sporenbildner sind und sich wohl auch als solche hauptsächlich im Boden finden werden, würde diese Annahme auch für sie ihre Geltung besitzen; wir werden jedoch sehen (S. 226), dass für das Ueberwiegen der Sporen im Boden noch ein anderer Gesichtspunkt maassgebend ist.

Ausser für diese im Boden ziemlich constant aufzufindenden, wenn auch wahrscheinlich anderen Medien entstammenden pathogenen Organismen sind es derzeit nur noch wenige, deren Nachweis im natürlichen Boden gelungen ist.

Für den *Bacillus anthracis*, Milzbrandbacillus, ist zuvörderst nachgewiesen, dass er, untermischt mit Boden, besonders in Sporenform, auch wirklich im Boden längere Zeit verweilen und wieder nachgewiesen werden kann.

PASTEUR<sup>2)</sup> hat zu Milzbrandblut Erde hinzugefügt, die mit Hefewasser oder Urin benetzt und Temperaturen ausgesetzt war, wie sie zur Sommerszeit oder in einem Düngerhaufen herrschen. In weniger als 24 Stunden fand er Vermehrung und Sporenbildung. Zu ähnlichen Resultaten kam SCHRAKAMP<sup>3)</sup>. Durch folgenden Versuch bewies dann PASTEUR, dass ein derartiger Vorgang sich auch in der Natur etablire: Ein an Milzbrand verstorbener Hammel wurde auf einer Meierei (im August) verscharrt, 10 und 14 Monate später wurde Erde aus dieser Grube gesammelt, und in derselben durch Impfung die Milzbrandsporen nachgewiesen; dies geschah auch an der Ober-

1) Mittheilungen des k. Gesundheitsamtes. I. S. 35.

2) Die auf den Milzbrand bezüglichen Arbeiten PASTEUR's finden sich gesammelt in: *Le Charbon et la Vaccination charbonneuse d'après les travaux récents de M. PASTEUR. Par CH. CHAMBERLAND. Paris 1883.*

3) Archiv f. Hygiene. II.

fläche, obzwar die Erde nicht etwa umgewühlt worden war. Von ähnlichem Resultate waren Versuche begleitet, die im Jura angestellt wurden, wo (in den Monaten Juni, Juli und September) drei Milzbrand-Kühe in der Tiefe von 2 Metern verscharrt worden waren, und wo aus Auszügen der oberflächlichsten Erdschicht mit Leichtigkeit Milzbrand geimpft werden konnte, während die von den Gruben entfernten Erdschichten keinen Milzbrand ergaben. Der Beweis, dass dieser Boden über den Gruben und kein anderer wirklich Milzbrand liefere, wurde auch noch dadurch erbracht, dass diese betreffenden Stellen mit einer Einzäunung versehen und vier Hammel in dieselbe gebracht wurden; es wurde an sie Futter, das mit Erde von der Oberfläche der Gruben vermischt war, verfüttert; drei Thiere gingen an Milzbrand zu Grunde, von den Controlthieren keines, und hierbei ereignete sich ein Todesfall bereits am ersten Tage nach der Fütterung, von dem in Folge dessen PASTEUR annimmt, dass die Infection noch vor dieser Fütterung spontan durch Pflanzen aus diesem Boden erfolgt war. Die Thatsache, dass Milzbrand durch sehr lange Zeit, selbst durch viele Jahre hindurch, im Boden sich conservirt, erhärtet PASTEUR durch eine Reihe von Versuchen, wo an einem Orte (auf dem Gute Rozières bei Senlis) 12 Jahre nachdem dasselbst Cadaver vergraben waren, von neun Hammeln, die auf diese Stelle durch mehrere Tage getrieben wurden, zwei an Milzbrand starben.

Analoge Versuche mit einem Boden, in welchem vor 12 und vor 3 Jahren Milzbrandcadaver eingegraben worden waren, wurden so dann vor einer zur Prüfung dieser Frage eingesetzten Commission wiederholt.

Bei diesen Versuchen wurde das Waschwasser des Bodens, in welchem sich die Milzbrandsporen, aber auch andere Pilze fanden, zunächst durch 20 Minuten auf 90° erhitzt, um die vegetativen Formen der vorhandenen Organismen zu tödten; sodann wurden Einspritzungen an Thieren gemacht, die theils Septicämie, theils auch echten Milzbrand erzeugten.

PASTEUR wendet sodann folgendes Verfahren an, um die Milzbrandpilze im Boden zu isoliren und sie speciell von den Septicämiebacillen (Bacillen des malignen Oedems, KOCH) zu trennen.

Er erhitzt den feinen Bodensatz, den er bei der Decantation erhält, auf 90°, dadurch werden die vegetativen Formen der Organismen getödtet und es bleiben die Milzbrandsporen, aber auch die Septicämiesporen; sodann sät er diese Massen in Glasröhren aus, die mit sterilisirtem Kies gefüllt sind, und bringt das Ganze auf eine Temperatur von 30—35°. Die aëroben Milzbrandorganismen vermehren sich nun rasch unter den günstigen Verhältnissen des gesteigerten Luftzutritts, während die anaëroben Septicämieorganismen es zu keiner Entwicklung bringen.

Hierher ist noch eine Beobachtung von CROOKSHANK <sup>1)</sup> zu zählen, welcher bei subcutanen Injectionen von Erde bei Mäusen in einem Falle eine Milzbrandinfection erzielte, wo dann die angestellten Nachforschungen ergaben, dass die betreffende Erde einem Winkel entnommen war, welcher vor 9 Jahren als Begräbnissplatz für die an Milzbrand gefallenen Thiere gedient hatte. Jedenfalls waren in allen diesen Fällen langer Conservirungsdauer die Milzbrandorganismen in der Form von Sporen vorhanden.

Den *Bacillus malariae* haben KLEBS und TOMMASI-CRUDELI <sup>2)</sup> und CECI <sup>3)</sup> aus Malariaboden gewonnen. Die Charakterisirung desselben ist noch ohne Anwendung jener methodischen Hilfsmittel erfolgt, die uns jetzt zur Reincultur und zur Bestimmung eines Pilzes führen, und die seiner Zeit aufgestellten Beziehungen zur Malaria sind seither nicht bloß nicht bestätigt, sondern nur noch zweifelhafter geworden.

Der Nachweis der Pneumoniokokken im Fehlboden von EMMERICH sei hier nur kurz berührt, da es sich hierbei nicht um natürlichen Boden handelt.

Typhusbacillen will endlich Dr. TRYDE <sup>4)</sup> im verunreinigten Boden der Marinekaserne in Kopenhagen bei einer Typhusepidemie gefunden und durch Plattenculturen identificirt haben.

Es darf diese geringe Anzahl positiver Befunde uns keineswegs auf die thatsächliche Abwesenheit der pathogenen Organismen im Boden schliessen lassen, wir haben vielmehr nur die Thatsache darin zu erkennen, dass die Methoden, Organismen in Gemischen zu differenziren und gar zu isoliren und rein darzustellen, noch zu kurze Zeit im Gebrauch und noch nicht nach allen Richtungen hin ausgebeutet worden sind; ja gerade die Milzbrandfunde machen es wahrscheinlich, dass wir in Zukunft bei noch genauerer Kenntniss der Entwicklung und Lebensthätigkeit der niederen Organismen im Boden eine reichlichere Ausbeute finden werden. Sind ja diese relativ so zahlreichen Milzbrandfunde eben hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass der Nachweis derselben durch Cultur und Injection ein so relativ leichter ist (vergl. auch die Untersuchungen BEUMER's).

Die Frage nach der biologischen Form, in welcher sich die Bacillen im Boden vorfinden, wurde schon bei Gelegenheit der einzelnen Befunde berührt. Wir haben bei einem durch Organismen

---

1) Lancet 1885.

2) Archiv für experimentelle Pathologie und Pharmakologie. XI.

3) Ibidem. XV. XVI.

4) La Semaine médicale. 1885. p. 155.



verunreinigten Boden jedenfalls zweierlei Stadien auseinander zu halten; jenes Stadium, das sich unmittelbar oder kurz nach der Verunreinigung darbietet, und wo wir alle möglichen Formen, auch die wenig widerstandsfähigen vegetativen Formen, vorfinden können. Untersuchen wir jedoch längere Zeit nach der Verunreinigung, so werden diese theils zu Grunde gegangen, theils verdrängt sein, und es bleiben nur die Dauerformen zurück. KOCH findet (vergl. oben S. 202), dass nach Austrocknen des Bodens die Mikrokokken aus dem Boden verschwinden und dass auch nur wenig oder keine Bacillen, sondern Sporen, Dauerformen zurückbleiben.

## II. Das Eindringen der Organismen in den Boden.

Auf S. 201 wurde schon ausgesprochen, dass es wahrscheinlich ist, dass ein grosser Theil der im Boden befindlichen Organismen erst demselben von oben her zugeführt wird. Als Vermittler können wir wohl feste körperliche Theile, die Luft und die Flüssigkeiten ansehen.

Von den festen körperlichen Theilen, mit denen Organismen auf und in den Boden gelangen, sind es besonders die Leichen, die unsere hygienische Aufmerksamkeit beanspruchen. Es ist diesem Gegenstande in diesem Handbuch eine besondere Abtheilung gewidmet.

Ein wesentliches Transportmittel für die Organismen ist dann jedenfalls die Luft, die in dem Staube, den sie allenthalben ablagert, die Pilze mit sich führt, und es ist kein Zweifel, dass, soweit es sich um eine Uebertragung auf die oberflächlichen Bodenschichten und auf diese Weise auch um eine gewisse diffuse Verbreitung und Vermischung handelt, die Luft eine sehr wesentliche Rolle spielt; sehr gering dürfte jedoch der Antheil ausfallen, der ihr bei einem etwaigen Transport in die Tiefe zukommt. Die später anzuführenden Versuche, die sich mit dem Transport von Pilzen durch im Boden herrschende oder künstlich erzeugte Luftströmungen beschäftigen, haben ergeben, dass trockener und noch mehr feuchter Boden filtrirend auf pilzhaltige Luft wirken. Und die Versuche von R. PUMPELLE<sup>1)</sup>, die sich direct mit der Frage beschäftigen, ob durch eine Bodensäule bei unbewegter Luft Mikroorganismen hindurchtreten, haben ergeben, dass schon Bodensäulen von sehr geringer Höhe (wenige Millimeter) eine Art pilzdichten Abschluss bilden.

Die wesentlichste Aufgabe beim Eindringen der Mikroorganismen in den Boden wird jedoch dem Wasser zufallen, auch schon des-

---

1) Report of the National board of Health. Washington 1881.

halb, weil mit Hilfe dieses Mediums die meisten Organismen schon auf den Boden gelangen.

Wir wollen uns hier hauptsächlich mit dem Transport in die Tiefe beschäftigen, wenn auch das Wasser die Verbreitung der Fläche nach gleichfalls begünstigt und vermittelt. Bezüglich der rein mechanischen Rolle, die das Wasser beim Transport in die Tiefe spielt, sei auf die Erörterungen über die Bewegung des Wassers nach der Tiefe zu (S. 103 ff.) und das Eindringen der Verunreinigungen in den Boden (S. 174 ff.) Gesagte verwiesen. Indessen untersteht der Transport der Pilze in die Tiefe doch noch anderen Bedingungen, die eben in dem Wesen der Organismen gelegen sind.

Die Organismen sind ja nur im Wasser als körperliche Theile suspendirt, sie sind ferner lebende Wesen. Beide diese Umstände wirken mehr oder weniger hemmend auf die Abwärtsbewegung ein.

Betrachten wir zunächst die aus dem Belebtsein der Organismen hervorgehenden Consequenzen, so könnten dieselben insofern einer Abwärtsbewegung, einem tieferen Eindringen günstig sein, als durch das Wachsthum die Vermehrung, die ja auch in der Tiefe vor sich gehen kann, ein Vorwärtsschreiten, ein Eindringen in den Boden möglich ist. Es sei dies für einzelne Organismen auch nicht geleugnet, im Allgemeinen wird jedoch der Effect dieses Wachstums, der sich ja in der Flächenausbreitung bei der so ausserordentlichen Kleinheit der Organismen nur sehr allmählich zeigen wird, von dem Effecte der Wasserbewegung, wenn derselbe (S. 178) auch ein sehr geringer ist, weit überholt werden.

Dann aber darf wohl geltend gemacht werden, dass die meisten oder wenigstens viele der pathogenen Organismen im Boden, besonders in etwas tieferen Schichten, so ungünstige Lebensbedingungen finden werden, soweit es sich um Temperatur, Nährsubstrat, Luft oder Luftabschluss, Concurrenz handelt, dass an eine wesentliche Vermehrung schwer gedacht werden kann.

Umgekehrt werden gerade diese Umstände bewirken, dass von den mit der Flüssigkeit in den Boden geschwemmten Organismen nur relativ wenige oder wenigstens nur bestimmte biologische Formen in die Tiefe gelangen werden.

Die vegetativen Formen, als welche sich die Organismen, freilich nicht ausschliesslich, in den den Boden verunreinigenden Flüssigkeiten befinden, sind nur wenig widerstandsfähig, sie werden eine grössere Tiefe um so weniger leicht erreichen, als schon die Bewegung der Flüssigkeit allein nach abwärts meist eine sehr langsame ist; nur dort, wo in den Flüssigkeiten Dauerformen sich finden oder

sich an der Bodenoberfläche gebildet haben und diese Dauerformen innerhalb des Bodens nicht wieder zu vegetativen Formen auswachsen, kann ein Eindringen der Organismen in grössere Tiefen angenommen werden.

Diesem wirkt aber wieder die körperliche Natur der Organismen entgegen, denen gegenüber der Boden doch, und zwar sowohl der trockene als auch der feuchte resp. nasse, einigermaassen als Filter wirkt.

Dass Organismen durch Filter, und zwar durch die dem Boden analogen resp. aus Bodenmaterialien construirten Filter, deren Hohlräume grösser sind als die Dimensionen der einzelnen Organismen — natürlich nicht vollständig — zurückgehalten werden, geht schon aus den neuen, vergleichenden bacteriologischen Wasseruntersuchungen hervor. Einmal sind die Organismen ja durchaus nicht immer ganz isolirt als Einzelzellen im Wasser suspendirt, sie sind zu Fäden, Haufen, Zoogloen u. s. w. vereinigt, also zu grösseren, bereits filtrirbaren Conglomeraten, sodann aber können auch die einzelnen isolirten Zellen sich mitunter an diejenigen Wände des Hohlraums, an die sie gerade anstossen, anlagern, durch Adhäsion festgehalten werden, analog, wie das HOFFMANN-PASTEUR'sche Verfahren des Umbiegens oder der zickzackförmigen Krümmung des ausgezogenen Kolbenrohrs die Infection von offen stehenden, sterilisirten Nährlösungen verhindert. So kann also der Boden bei der Abwärtsbewegung organismenhaltiger Flüssigkeit eine gewisse filtrirende Wirkung ausüben und die Menge der in die Tiefe gelangenden Organismen vermindern, vielleicht eine kurze Zeit gar ganz aufheben. PASTEUR und JOUBERT führen die relative oder absolute Keimfreiheit der Quellen auf diese Ursache zurück, und wenn auch die zuerst von FALK<sup>1)</sup> experimentell behauptete Fähigkeit des (Berliner) Sandbodens, milzbrandhaltiges Blut von seinen Organismen zu befreien, nicht mit Sicherheit auf eine Filtration, sondern, zum Theil wenigstens, auf ein Untergehen, ein Verdrängtwerden der vegetativen Formen zurückgeführt werden muss (FALK filtrirte Milzbrandblut, das wahrscheinlich sporenfrei war), so ist doch durch seine Versuche nachgewiesen, dass in der That ein künstlicher, in Röhren eingefüllter Boden die Organismen auf ihrem Wege in die Tiefe aufhalten kann. FALK nahm Rieselflüssigkeiten in allen ihren Stadien, vom ersten Tage des Abschöpfens bis zu extremen Fäulnisstadien, mit welchen er gelegentlich auch septische Blutvergiftung an Mäusen erzeugen konnte,

---

1) EULENBERG, Vierteljahrschrift für gerichtliche Medicin. N. F. XXVII.

und filtrirte dieselbe durch Sandsäulen von ca. 60 Cm. Höhe. Die abtropfende Flüssigkeit war bernsteingelb, reagirte schwach alkalisch, war für die Sinne vollkommen indifferent und liess keine septische Infection mehr zu. Ein faulendes Fleischinfus, in welchem sich zahlreiche grosse Stäbchen und spirillenartige Fäulnissorganismen herum tummelten, zeigte nach derselben Filtration viel weniger Formelemente und an Stelle jener waren ausschliesslich kleine kugelige Bakterien getreten. Allerdings konnte FALK auch nachweisen, dass mitunter im Boden die Zahl der eingeführten Pilze, die Intensität des Fäulnissprocesses sich steigere.

R. PUMPELLE fand gleichfalls eine Verminderung der Organismen bei Filtration durch Sand- und Kohlschichten von relativ sehr geringer Höhe, es ging herab bis zu 0,2 Cm., und FRANKLAND<sup>1)</sup> hat bei Filtration durch Sandschichten von 16 Cm. Höhe eine sehr bedeutende Abnahme und selbst vollständiges Verschwinden der aufgegossenen Pilze beobachtet.

Auf diese Weise muss also in der That der Pilzgehalt gegen die Tiefe zu allmählich abnehmen, und die von KOCH und BEUMER constatirte Abnahme der Mikroorganismen nach der Tiefe zu findet in diesen Vorgängen eine zweifache Begründung.

Ebenso beweiskräftig sind die Berieselungsversuche, die direct als ein im Grossen angestelltes Experiment über die gegenüber niederen Organismen zur Anwendung kommende filtrirende Eigenschaft des Bodens anzusehen sind.

Als Beispiele können die Untersuchungen der Berliner<sup>2)</sup> und Pariser<sup>3)</sup> Rieselwässer angeführt werden.

Bezeichnung des Wassers nach der Entnahmestelle	Aus 1 Cbcm. entstehen Colonien	
	insgesamt	verflüssigend
Spüljauche aus dem Druckrohr in Falkenberg . . . .	38 000 000	989 000
Mitte des nördlichen Sielgrabens . . . . .	87 000	13 800
Südlicher Sielgraben 20 Schritte oberhalb der Mündung	409 000	6 500

In dem Rieselterrain von Gennevillier wirkt die Bodenfiltration so mächtig, dass sich in dem Drainwasser von Asnières nur 12 Keime im Gramm vorfinden, während z. B. das Wasser der Seine zu Asnières,

1) The removal of microorganisms from water. Proceedings of the Royal Society. 1885.

2) Die Verhandlungen der deutschen Gesellschaft für öffentl. Gesundheitspflege zu Berlin über Canalisation und Berieselung. 1883.

3) MIQUEL, Annales de l'observatoire de Montsouris. 1883.



wo dieselbe alle Kanäle der Hauptstadt aufgenommen hat, 3200 Keime im Gramm enthält.

Ist also auf diese Weise das Eindringen von Organismen in die Tiefe als Folge des Hindurchsickerns ausserordentlich erschwert, so sind dann jene Fälle um so sorgsamer zu prüfen, wo die Quelle der Infiltration bereits in der Tiefe sich befindet, in Gestalt schlechter durchlässiger Kanäle, durchlässiger Senkgruben, offener Communicationen mit Entwicklungsherden von Organismen. Es fehlen nach dieser Richtung hin Untersuchungen über den Pilzgehalt des Bodens in notorisch sehr verunreinigten Stätten, doch liefern die S. 202 angeführten Versuche BEUMER's den Nachweis, dass der Pilzreichtum bis zu 6 Meter ein ausserordentlich hoher sein kann.

Es ist diese Verunreinigung des Bodens durch niedere Organismen, die auf dem Wassertransporte erfolgt, mit Rücksicht auf gewisse physikalische Verhältnisse des Bodens und die biologischen Eigenschaften der Pilze ganz besonders zu beachten. Die Concurrrenz der Pilze unter einander, in Folge deren in Flüssigkeiten, die Pilzgemische enthalten, allmählich nur ein Pilz zur ausschliesslichen Vermehrung und Herrschaft gelangt, kann im Boden in einer gewissen Weise modificirt resp. aufgehoben werden, je nach der physikalischen Beschaffenheit desselben. Sickert z. B. eine mit Pilzen beladene Flüssigkeit in einen sehr feinkörnigen Boden, so wird sich die Flüssigkeit bei einem bestimmten Feuchtigkeitsgrade in Form äusserst dünner, durch Adhäsionskraft festgehaltener Lamellen auf den Körnchen niederschlagen und so lange nicht ein neuer Flüssigkeitsstrom hinzutritt, in einem gewissen Sinne immobilisirt werden, dadurch ist die Möglichkeit gegeben, dass sich abgeschlossene resp. immobilisirte Flüssigkeitsschichten finden, in welchen sich der eine oder andere pathogene Pilz, der schon ursprünglich in der Ueberzahl vorhanden war, unvermischt, also in einer Art Reincultur, vorfindet und sich auch für eine gewisse Zeit als solche erhalten kann, besonders wenn er etwa in seiner Dauerform fixirt worden ist. Es liegt dann für die Vertheilung der Pilze in der Bodenflüssigkeit die Analogie vor mit jener Vertheilung und Fixirung, wie sie bei dem Einbringen in ein erstarrendes Nährmedium (Gelatineplatten u. s. w.) künstlich vorgenommen wird.

### III. Austritt der Organismen aus dem Boden.

Die etwaigen pathogenen Organismen im Boden müssen, sollen sie wirklich zu Erkrankungen führen, auch Gelegenheit haben, in Beziehung zum Menschen zu treten.

Wenn die Spaltpilze an der Oberfläche des Bodens sich befinden, so ist die Gelegenheit hierzu meistentheils gegeben, die Pilze können im eingetrockneten Zustande mit den von der Bodenoberfläche mechanisch hinweggeführten Partikelchen in die Luft verbreitet werden und durch diese wieder an feste Körper, in Flüssigkeiten abgelagert werden, sie können so unsere Athmungsluft, unsere Nahrungsmittel, unser Wasser u. s. w. verunreinigen, sie können dann, wenn sie in einer Flüssigkeit suspendirt sind, durch Aufrühren, durch Verspritzen der Flüssigkeit in die Luft gelangen (vergl. Capitel Luft S. 121), sie können aber auch direct durch Verletzungen in die Gewebe von Menschen und besonders von Thieren eindringen.

Befinden sich jedoch die Pilze in einer gewissen Tiefe im Boden, so ist eine derartige unmittelbare Communication unmöglich, die Pilze müssen erst eine Strecke transportirt werden. Wir haben hier abermals an zwei Transportmittel zu denken, an die Luft und an das Wasser.

1. Da die Thatsache feststeht, dass sich Luftströmungen im trockenen Boden etabliren, die die nöthige Intensität besitzen, um Pilze zu transportiren (S. 67), so lag es nahe, auch diesen Transport wirklich stattfinden zu lassen; allein die thatsächlichen Beobachtungen widersprechen zumeist dieser Annahme. Auf S. 215 sind bereits einige Beobachtungen angeführt, nach denen Bodensäulen von geringer Höhe den Eintritt von Pilzen in gewisse Bodentiefen verhindern. Es liegt aber auch eine Reihe directer, auf diesen Punkt gerichteter Versuche vor, die zu dem Resultate führen, dass ein trockener Boden ein wirksames Filter ist, um Luft von Spaltpilzen zu befreien und diese also an einem eventuellen Austritt aus dem Boden zu hindern. Schon NÄGELI<sup>1)</sup> machte auf die pilzfiltrirende Wirkung des Bodens aufmerksam, und MIQUEL<sup>2)</sup> und PUMPELLY (l. c.) gelang es Luft pilzfrei zu machen, wenn sie dieselbe durch den Boden hindurch filtrirten, und dies bei Geschwindigkeiten, die die in der Natur vorkommenden Luftströmungen weitaus übertreffen. Dem entsprechend waren auch die Versuche, Pilze aus dem natürlichen Boden zu aspiriren, meist ohne Resultat geblieben. MIQUEL kommt auf Grund seiner Filtrationsversuche durch lockeren und feuchten, natürlichen und künstlich verunreinigten Boden zu dem Resultate, dass die Luft, die durch den Boden hindurch filtrirt, nicht bloß die Organismen, die sich immer daselbst in ausserordentlicher Anzahl vorfinden, nicht mit sich führt, sondern sich sogar vollständig darin

1) NÄGELI, Die niederen Pilze. München 1877.

2) MIQUEL, Les organismes vivants dans l'atmosphère. 1883.

reinigt. Künstliche Luftströmungen von unvergleichlich höherer Intensität als die im Boden vorhandenen vermögen nicht die Keime auch nur einige Centimeter hoch zu führen. Im Einklang damit stehen Versuche von EMMERICH <sup>1)</sup>, der Luft durch 10—150 Cm. lange, mit feuchtem Boden gefüllte Röhren aspirierte und dadurch von Pilzkeimen vollständig befreite (nur in einem Falle, als die Bodenfeuchtigkeit auf 8% gesunken war, gelangten Pilze durch den Boden).

Von etwas anderem Gesichtspunkte aus sind jene Versuche aufzufassen, wo aus bestimmten Bodentiefen durch eingesenkte Röhren Luft aspiriert wurde, auch hier wurden meist negative Resultate erzielt, es gelang nicht, Pilze in der Bodenluft nachzuweisen (BUCHNER, EMMERICH, RENK <sup>2)</sup>); nur MIFLET <sup>3)</sup> hat aus der Bodenluft des botanischen Gartens und des Hofraumes des pflanzen-physiologischen Institutes Organismen aspirieren können. Es kommt in diesem Falle nicht mehr die Frage des Transports von Organismen durch den Boden zur Entscheidung, sondern die Frage des Vorhandenseins von Organismen in einer bestimmten Bodentiefe. Wenn der Boden an jener Stelle, wo gerade die aspirirenden Rohre ausmünden, Organismen enthält und trocken genug ist, dass sich seine Partikelchen loslösen können, so wird es zum Nachweis von Organismen in der Bodenluft kommen können. Allerdings scheint eine Reihe dieser Versuche (BUCHNER, EMMERICH, RENK <sup>4)</sup>) abermals für die Seltenheit des Vorkommens von niederen Organismen in gewissen Bodentiefen zu sprechen, wobei freilich bei der Wahl des Bodens nicht besondere Rücksicht auf eine etwaige Bodenverunreinigung genommen wurde.

Als das Resultat all dieser Beobachtungen und Versuche geht wohl hervor, dass die gewöhnlichen in einem Boden herrschenden Luftströmungen nicht im Stande sein werden, Pilze aus irgend welcher etwas bedeutenderen Tiefe an die Oberfläche zu bringen, die filtrirende Wirkung des Bodens ist im Verhältniss hierzu eine zu mächtige. Eine Ausnahme hiervon dürften jedoch jene Fälle machen, wo plötzliche, durch Austrocknung oder andere Vorgänge bewirkte Continuitätstrennungen, Spaltenbildungen u. dergl. tiefere Bodenschichten blosslegen und in die Möglichkeit einer directen Beziehung zur Oberfläche versetzen (vergl. S. 125).

2. Als ein weiteres Vehikel für Organismen ist das Wasser anzusehen, ja mit Rücksicht auf die Rolle, welche die Schwankungen der Bodenfeuchtigkeit, wie sie sich nach PETTENKOFER im

---

1) Archiv f. Hygiene. IV.

2) RENK, Archiv f. Hygiene. IV.

3) Beiträge zur Biologie der Pflanzen. III.

4) Archiv f. Hygiene. IV.

Grundwasserstände ausprägen, in epidemiologischer Beziehung spielen, werden wir die Möglichkeit einer eventuellen Ausbreitung der Krankheitspilze durch directe oder indirecte Mithilfe des Wassers im Boden ganz besonders ins Auge fassen müssen.

Das Wasser könnte auch gewissermaassen im umgekehrten Strome, in seinem Laufe nach abwärts, als Vermittler für den Austritt der Pilze dienen. Einmal indem es auf seiner Wanderung nach abwärts die Organismen allmählich jenen Bodenwässern zuführt, die als Quellen, Grundwasser (Brunnen), Flüsse u. s. w. schliesslich in Communication zu dem Menschen treten. Die auf S. 214 angeführten Untersuchungen zeigen, dass dort, wo das Wasser wirklich durch einen porösen Boden hindurchströmt, und nicht etwa durch gröbere künstliche Lücken und Spalten, sich dasselbe allmählich von seinen Organismen befreit, dadurch, dass diese theils zerstört, theils abfiltrirt werden; und die bacteriologischen Untersuchungen über die Wirksamkeit der künstlichen Wasserfiltration geben hierfür einen Beleg; immerhin werden wir diesen Weg nicht ausschliessen dürfen, besonders wenn es sich um Pilzanhäufungen in etwas grösseren Bodentiefen handelt oder wenn wirklich directere Communicationen zum Grundwasser führen.

Die bacteriologischen Untersuchungen von Brunnenwässern in Städten mit einem stark verunreinigten Untergrund haben die Brunnen vielfach als sehr bacterienreich erscheinen lassen. In einem Grundwasser führenden Pumpbrunnen in München fanden sich 16000 entwicklungsfähige Keime pro Cubikcentimeter, in einem solchen von Rudolstadt gar 50625 <sup>1)</sup>, wobei allerdings eine nachträgliche Entwicklung und Vermehrung im Brunnenwasser selbst nicht ausgeschlossen werden darf (manchmal wohl auch eine directe Communication mit einem Bacterienherd). Aufgabe weiterer Forschung wäre, zu zeigen, auf welchem Wege diese Organismen im concreten Falle in das Brunnenwasser gelangen.

Auf eine andere Weise haben NÄGELI und BUCHNER <sup>2)</sup> das an die Oberflächegelangen von niederen Organismen im Boden durch das abfliessende Wasser möglich erscheinen lassen. Sie gehen von jenen Vorgängen aus, die sich beim Sinken einer Wassersäule im Boden etabliren müssen. Wenn man in dem mit Flüssigkeit durchtränkten Boden das Niveau der ersteren erniedrigt, so müssen die in den Zwischenräumen vorhandenen Wasserlamellen platzen. Die Ca-

1) WOLFFHÜGEL, Erfahrungen über den Keimgehalt brauchbarer Trink- und Nutzwässer. Arbeiten aus dem k. Gesundheitsamt. I.

2) Centralblatt der medicin. Wissenschaften. 1882.



pillaren sind durch äusserst dünne Wasserlamellen abgeschlossen, die beim Sinken des Wassers schliesslich einreissen müssen. Enthält nun dieses Wasser irgend welche Pilze, so werden dieselben beim Platzen verstäubt und gelangen so in die Luft. Es lässt sich nun in der That ausserordentlich leicht nachweisen, dass ein jedes Verstäuben von pilzhaltigen Flüssigkeiten zur Verbreitung dieser Pilze in die Luft führt. Aber damit werden auf diesem Wege nur selten, nur in ganz gewissen Fällen, Pilze in die Luft gelangen, und zwar dann, wenn sich dieser Vorgang in höchst minimalen Tiefen unter der Oberfläche abspielt, da ja sonst sofort wieder die pilzfiltrirende Kraft des Bodens in Action tritt.

Es soll auch dieser Vorgang nicht etwa als eine Erklärung für die Erscheinungen beim Sinken des Grundwassers dienen. Das Sinken des Grundwassers dort, wo es wirklich der Ausdruck für die Austrocknung des Bodens ist, beruht nicht etwa auf einem Abfließen in die Tiefe, sondern ist zum grössten Theil eine Folge der Verdunstung; es findet dann eine Abnahme von oben her statt, so dass es dann zu keinem Platzen von Blasen zu kommen braucht.

Wir können auch noch an den Transport durch das aufsteigende Wasser, und zwar durch das capillare, im Boden aufsteigende Wasser denken. SOYKA <sup>1)</sup> hat durch Versuche nachgewiesen, dass, wenn man Röhren mit reinem sterilisirten Boden füllt und in pilzhaltige Flüssigkeiten taucht, sich entsprechend dem capillaren Ansteigen des Wassers die betreffenden in den Flüssigkeiten vorhandenen Pilze im Boden nachweisen lassen, ohne dass bei der kurzen Zeit, innerhalb welcher das Ansteigen erfolgt und gleichzeitig der Nachweis der Pilze möglich ist, an ein Durchwachsen durch den Boden hindurch gedacht werden könnte. Innerhalb 48—24 Stunden und noch früher wurden Strecken bis zu 20 Cm. gleichzeitig von der Flüssigkeit und den darin suspendirten Pilzen (Mäusesepticämie, Milzbrand, Kommabacillus der Cholera u. s. w.) zurückgelegt.

Auf Grund dieser experimentell gefundenen Thatsachen gelangt SOYKA zu folgenden Schlussfolgerungen: Im feuchten Boden herrschen ununterbrochen capillare Strömungen, die durch Temperaturschwankungen, durch Concentrationsänderungen, durch Zuflüsse u. s. w. bedingt sind. Bei einer lange andauernden Austrocknung, wie sie dem Sinken des Grundwassers vorangeht (vergl. Theil II, Cap. II), muss sich für eine bestimmte Zeit eine ziemlich ununterbrochene capillare Wasserleitung aus tieferen Bodenschichten nach der Boden-

1) Experimentelles zur Theorie der Grundwasserschwankungen. Prager med. Wochenschrift. 1885.

oberfläche etabliren; mit diesem Flüssigkeitsstromen können nun reichlich Pilze an die Oberfläche gelangen, aber nicht etwa bloss Pilze, die sich im Grundwasser befinden, sondern, wo überhaupt in irgend einer Bodenschichte, die von dem aufsteigenden Capillarstromen innerhalb des Bodens getroffen wird, die sich also zwischen Grundwasser und Bodenoberfläche befinden, Pilze vorkommen, werden sich diese der aufsteigenden Strömung anschliessen und so an die Oberfläche gelangen können. Diese Pilze müssen aber dann an der Oberfläche oder in den obersten Bodenschichten verbleiben, da nur das Wasser verdunstet, die gelösten Stoffe aber, die nicht flüchtig sind und besonders die festen Partikeln als Residuum zurückbleiben. NESSLER<sup>1)</sup> hat diese Thatsache, dass die Verdunstung durch capillares Aufsteigen des Bodenwassers erfolgt, auch insofern experimentell gestützt, als er nachwies, dass die oberen Bodenschichten infolge dessen reicher werden an löslichen Stoffen (bis um das 5fache ihres ursprünglichen Gehaltes).

Es wäre zu erörtern, ob dieser Art des Transportes eine grössere Rolle zufalle als den bisher vorgeführten; ob wir für gewisse epidemiologische Erscheinungen, die einen Zusammenhang zwischen Grundwasserschwankungen und Krankheitsfrequenz (PETTENKOFER) nachweisen lassen, hier eine Stütze oder eine Erklärung finden.

Es sei zuvörderst vorausgeschickt, dass viele Thatsachen aus der Bodenpilzlehre zu der Annahme drängen, die Existenz der Pilze und auch die etwa vorhandener Krankheitserreger in nicht zu grosser Tiefe zu suchen. Der so ausserordentlich langsame Transport, dem schon die löslichen Stoffe im Boden anheimfallen (in HOFMANN's Versuchen legten sie innerhalb 24 Stunden nur 4—6 Mm. zurück), die offenbar ungünstigen Bedingungen für die Pilze in den tieferen Schichten des Bodens, die allmählich ein Verschwinden derselben schon in mässiger Tiefe erkennen lassen, sprechen dafür, und so ist es nicht unwahrscheinlich, dass die Steighöhe, die die Pilze zu überwinden haben, keine erhebliche ist.

Es wäre aber der Einwand zu machen, dass die Bodenschichten beim Austrocknen allmählich der Capillarität entrückt sind, indem dadurch, dass das von unten aufzusteigende Wasser in Folge der Austrocknung zu tief sinkt, schliesslich auch der capillare Wasserstrom eine tiefere Lage einnimmt, und die obersten Schichten vollkommen austrocknen, und nur noch die von unten her mit Wasserdampf beladene Luft durch sich hindurchtreten lassen. Dagegen sei auf das

---

1) Bericht über die Arbeiten aus der Versuchsstation Karlsruhe. 1870.

zuerst von LIEBENBERG (S. 97) hervorgehobene und später von Anderen bestätigte Verhalten des Bodens in Versuchsröhren hingewiesen, nach welchem das Wasser auch dann, wenn die am unteren Ende der Röhre befindliche Quelle der Befeuchtung entfernt wird, gegen die Oberfläche zu weiter aufsteigt.

Einer vollständigen, dauernden Austrocknung der oberflächlichsten Bodenschichten wirken aber auch noch die Temperaturverhältnisse der Bodenoberfläche resp. der oberflächlichsten Bodenschichten entgegen. Die Bodenoberfläche kühlt sich während der Nacht sehr bedeutend ab gegenüber den tieferen Bodenschichten. Aus den S. 152 angeführten Zahlen und Fig. 8 S. 153 geht hervor, dass im Jahresdurchschnitt die Temperatur der Bodenoberfläche um 5 h. Morgens um 4—10° niedriger ist als die der Schichten bis nur 0,4 Meter Tiefe.

Im einzelnen Falle wird diese Temperaturdifferenz noch grösser sein, wie sich leicht aus Simultanbeobachtungen der Bodentemperatur in verschiedenen Tiefen ersehen lässt. Aus den im Jahre 1880 in Tiflis angestellten stündlichen Beobachtungen der Bodentemperatur in verschiedener Tiefe<sup>1)</sup> ergaben sich folgende Differenzen zwischen der Temperatur der Erdoberfläche und jener der tieferen Bodenschichten (für die Zeit von 4 h. Morgens, wo nach S. 143 die Bodenoberfläche ungefähr die niedrigste Temperatur besitzt). Es betrug (in °C.) der Maximalbetrag, um welchen die Temperatur der Bodenoberfläche um 4 h. Morgens niedriger ist als die des Bodens in einer Tiefe von:

	0,05 Meter	0,12 Meter	0,2 Meter	0,40 Meter	0,79 Meter
Januar . . . . .	5,7	8,1	10,0	11,6	14,7
Februar . . . . .	9,1	12,5	12,0	13,0	15,2
März . . . . .	7,7	10,0	13,0	12,5	13,1
April . . . . .	7,1	8,5	10,0	11,4	12,4
Mai . . . . .	7,8	10,0	13,2	10,7	9,7
Juni . . . . .	8,5	11,4	13,9	11,2	9,2
Juli . . . . .	11,7	14,9	17,0	14,6	11,4
August . . . . .	8,7	12,3	14,9	14,1	14,8
September . . . . .	7,3	10,5	14,2	13,6	16,3
October . . . . .	7,9	11,8	15,9	17,0	18,5
November . . . . .	7,9	11,8	16,1	17,4	19,2
December . . . . .	8,4	9,6	13,7	17,0	21,5

Die von unten her durch die obersten Bodenschichten hindurchtretende Luft kann auf diese Weise Temperaturerniedrigungen bis

1) Beobachtungen der Temperatur des Erdbodens im Tifliser physikalischen Laboratorium. Herausgegeben von J. MIELBERG. Tiflis 1881.

über 21° erfahren, bei welcher eine Condensation des Wasserdampfes um so eher eintritt, als ja die aufsteigende Bodenluft meist mit Wasserdampf gesättigt ist (S. 113) und dass diese Condensation und damit die capillare Durchfeuchtung des Bodens sich nicht bloss in der Bodenoberfläche einstellen wird, sondern auch in etwas tieferen Schichten, geht aus einer weiteren Betrachtung der Tabelle hervor; sowie die Bodenoberfläche zu bestimmten Tageszeiten kälter ist als die tieferen Bodenschichten, so sind es auch in abgestufter Weise die tieferen Bodenschichten unter einander nach ihrer Lagerung. Auch NESSLER<sup>1)</sup> hat schon auf diese in den oberflächlichsten Bodenschichten sich etablirenden Condensationsniederschläge aufmerksam gemacht und FUSINIERI's und CHISTONI's<sup>2)</sup> Theorie der Thaubildung liegt ein Theil der hier angeführten Thatsachen zu Grunde. Es wird also in der trockenen Zeit auch bei einer Austrocknung der oberen Bodenschichten häufig genug sich wieder ein Wassergehalt etabliren, der diese capillare Strömung und diesen capillaren Transport unterstützt. Wir werden bei Betrachtung des Grundwassers sehen, dass, wie PETTENKOFER nachgewiesen hat, dessen Absinken ein Maassstab für die Durchfeuchtung der oberhalb desselben befindlichen Bodenschichten ist, dass in dem Absinken desselben sich die Verdunstung, die Austrocknung des Bodens manifestirt, und so wird wohl durch diese Thatsachen der Einfluss der verschiedenen Bodendurchfeuchtung auf das Austreten der Pilze aus dem Boden oder wenigstens auf das Antriebsoberflächegelingen derselben wahrscheinlich.

Auf diese Weise kann sich in diesen obersten Bodenschichten ein immer grösserer Pilzreichtum ansammeln, der dann leicht zur Verbreitung und überhaupt zum Contact mit den Menschen führen kann. Dabei wirkt auch noch die Austrocknung der oberflächlichen Bodenschichten höchst begünstigend für das Zerstäuben dieser Pilzmassen, für das Gelangen in die Luft, in das Wasser, an die Gegenstände, mit denen wir in Berührung kommen u. s. w.

3. Es ist noch eine Art des Transports ins Auge zu fassen, bei welchem lebende Wesen die Vermittlerrolle spielen. Wenn solche an irgend einem Orte im Boden sich mit den daselbst etwa vorhandenen, niederen Organismen beladen, so können sie sie bei ihrer Weiterbewegung verschleppen. PASTEUR<sup>3)</sup> hat mit Rücksicht auf die

---

1) Bericht über die Arbeiten aus der Versuchsstation Karlsruhe. 1870.

2) Sulle causa della formazione della Rugiada Estrato degli Anali di Meteorologia. 1880. Zeitschrift der österr. Gesellschaft f. Meteorologie. XVII.

3) Bulletins de l'Academie de médecine. 1881.



Infectiosität des Bodens von Orten, an denen Milzbrandcadaver verscharrt waren, die Regenwürmer als die Vermittler der Verbreitung angeschuldigt; sie bringen nach seiner Anschauung den Milzbrandorganismus aus den Tiefen des Bodens von den verscharrten Leichen an die Oberfläche; in den kleinen Erdcylindern, die diese Würmer auf der Bodenoberfläche deponiren, finden sich die Milzbrandkeime. PASTEUR mischte Milzbrandsporen mit Erde und setzte Regenwürmer hinein; in den Erdcylindern, welche ihren Darmkanal ausfüllen, fand er die Sporen in grosser Zahl; und wenn der lockere Boden der Oberfläche von Stellen, wo Milzbrandcadaver verscharrt waren, Milzbrandkeime oft in grosser Quantität enthält, so rühren diese nach P. von dem Zerfall der kleinen excrementitiellen Erdcylinder der Regenwürmer her. Der Staub dieser zerfallenen Erde verbreitet sich über die Pflanzen der Oberfläche und so gelangen die Milzbrandkeime in die Thiere. PASTEUR betont noch, dass die Regenwürmer ausserdem noch andere Keime in den Erdcylindern enthalten, Fäulniss- und Septicämiekeime.

Die Thatsache, dass Milzbrandorganismen durch Regenwürmer transportirt werden können, wird nun auch von FELTZ<sup>1)</sup> und BOL-LINGER<sup>2)</sup> bestätigt, auch KOCH<sup>3)</sup> gibt auf Grund experimenteller Untersuchung die Möglichkeit des Transportes zu, er schwächt jedoch die Bedeutung dieses Transportes für den Milzbrand wesentlich ab, indem er zeigt, dass das zu transportirende Material, die Milzbrandsporen, sich nicht etwa in der Tiefe befindet, an der Stelle, wo die Cadaver vergraben sind, da hier nicht die zur Sporenbildung nöthige Temperatur vorhanden ist, sondern dass sich die Sporen wahrscheinlich an der Oberfläche aus den Abgängen des Cadavers gebildet haben, also ein Aufwärtstragen durch die Regenwürmer gar nicht erforderlich ist, doch macht dagegen neuestens PASTEUR auf die durch Fäulnissvorgänge bedingte Temperaturerhöhung des Bodens (vergl. S. 169—170) aufmerksam.

#### IV. Einfluss des Bodens auf die Lebensthätigkeit und Entwicklung der niederen Organismen.

Die epidemiologischen Beobachtungen haben auch die Annahme eines Zusammenhanges zwischen Bodenbeschaffenheit und der Entwicklung von Organismen wahrscheinlich gemacht.

PETTENKOFER, der als Bedingung für das Zustandekommen gewisser epidemischer resp. endemischer Krankheiten (wie Abdominal-

1) Comptes rendus. XCV.

2) Arbeiten aus dem patholog. Institute in München. 1886. Ueber die Regenwürmer als Zwischenträger des Milzbrandgiftes.

3) Mittheilungen aus dem k. Gesundheitsamte. I.

typhus, Cholera u. s. w.) eine örtliche und zeitliche Disposition für unerlässlich ansieht, findet diese beiden Factoren in einem porösen, für Luft und Wasser durchgängigen und von organischen Substanzen durchtränkten Material — Boden — (örtliche Disposition), sowie in zeitweiligen Schwankungen der Durchfeuchtungs-, wohl auch der Temperaturverhältnisse (zeitliche Disposition); Schwankungen, die um einen mittleren Zustand zu oscilliren scheinen.

Nun haben wir zwar gesehen, dass diese Zustände bereits einen Einfluss auf die Wanderung von niederen Organismen im Boden besitzen, allein damit ist die Bedeutung dieser Vorgänge nicht erschöpft, es spricht eine Reihe von Beobachtungen und Untersuchungen dafür, dass auch die Lebensthätigkeit, Lebensenergie und Entwicklung der Pilze hierdurch in einer bestimmten Richtung beflusst wird.

Es ist auf S. 203 ff. erörtert worden, dass die Nitrification der organischen stickstoffhaltigen Substanzen im Boden, dass ferner die Reduction der Nitate zu Nitriten, die Umwandlung des organischen Kohlenstoffs zu Kohlensäure mit grosser Wahrscheinlichkeit auf die Lebensthätigkeit niederer Organismen zurückgeführt werden kann. In diesem Falle haben wir in den auf S. 188 enthaltenen Ausführungen eine Reihe von Belegen dafür, wie sehr die chemische Beschaffenheit des Bodens, der physikalische Charakter desselben, sein Wassergehalt, seine Temperatur diese Prozesse, die als Aeusserungen der Lebensthätigkeit niederer Organismen aufzufassen sind, und damit die Lebensthätigkeit dieser Organismen selbst beeinflusst.

Der Werth dieser Thatsachen wird jedoch abgeschwächt durch den schon S. 206 hervorgehobenen Umstand, dass die Existenz dieser Bodenpilze noch keine wissenschaftlich vollkommen gesicherte ist. Dagegen hat SOYKA<sup>1)</sup> den Einfluss eines Factors in dem grossen Complexe der Bodeneinflüsse, den der wechselnden Bodenfeuchtigkeit, auf die Lebensthätigkeit genau studirter Gährungspilze, und zwar des Hefepilzes, *Saccharomyces cerevisiae*, experimentell festzustellen versucht. Als Bodenmaterial dienten ihm Glasperlen von einem Durchmesser von ca. 0,54 Mm. und die Schwankungen der Feuchtigkeit — bei gleicher Anzahl von Organismen und zu vergärender Substanz (Zucker) — wurden in der Weise erzielt, dass zu verschiedenen Quantitäten des porösen Materials gleiche Quantitäten der mit Hefe beschickten, zu vergärenden Flüssigkeiten zugesetzt wurden. Diese Versuche wurden dann noch in der Weise variirt,

1) SOYKA, Die Lebensthätigkeit niederer Organismen bei wechselnder Bodenfeuchtigkeit. Prager medicin. Wochenschrift. 1885.

dass auch der Einfluss der wechselnden Menge der Hefepilze in Betracht gezogen wurde.

Die Resultate dieser Versuche nach Ablauf einer 12stündigen Gärung bei einer Temperatur von ca. 35° waren folgende:

Nummer des Versuchs	Gewicht der Glas- perlen in Grm.	An- nähernde Zahl der Glasperlen	Die zugesetzte Gähr- flüssigkeit, 10 Cbm., repräsentirt eine Feuchtigkeit		Zucker vergohren in % des ursprünglichen Zuckergehalts bei einer Hefenmenge von		
			in % der Poren	in Kilo pro Cbm.	I 5 %	II 11,4 %	III 17 %
1	0	0	∞	∞	50—53	75,6	89,3
2	33,0	144,570	150	523	56,6	86,0	87,5
3	49,5	216,860	100	344	65,6	83,9	93,0
4	62,0	271,620	80	278	56,25	78,6	93,0
5	99,0	433,720	50	174	37,5	57,0	93,0
6	165	722,850	30	104	37,5	57,0	76,0
7	247	1,084,300	20	67	30,5	36,0	71,0
8	495	2,168,600	10	35	0,00	28,6	63,6
9	990	4,337,200	5	17	0,00	0,00	32,4

Das erste Resultat, das aus diesen Versuchen hervorgeht, ist, dass mit der Abnahme der Bodenfeuchtigkeit die Gärung gehemmt, ja eventuell sogar vollständig aufgehoben wird. Betrug die Flüssigkeit nur 5—10 % des Porenvolums, d. h. 1,7—3,5 % des Gesamtvolums, so trat bei sonst ganz gleichen Versuchsbedingungen, bei gleichem Gährmaterial, bei gleicher Zahl von Gährungserregern keine Gärung mehr ein.

Diese Abnahme der Gährungsthätigkeit erfolgt jedoch nicht blos nach der einen Seite hin, nach der der abnehmenden Wassermenge, die Abnahme erfolgt auch nach der anderen Seite hin. Wir sehen in allen diesen Fällen, dass die Gärung in der Flüssigkeit allein, ohne jeden Zusatz von künstlichem Boden, nicht jenes Maximum erreicht, das sie im Boden zu erreichen vermag. Im Versuch I (5 % Hefe) bleibt sie um 15 % hinter dem Maximum zurück, im Versuch II (11,4 % Hefe) um 7,4 %, im Versuch III (17 % Hefe) um 3,7 %, es etablirt sich also bei einer bestimmten Bodenfeuchtigkeit ein gewisses Optimum der Entwicklung, um welches die anderen Grade dann oscilliren.

Die Erklärung für diese Erscheinung liegt wohl in der auf S. 75 etc. erörterten Eigenschaft des Bodens resp. der porösen Körper, Luft (Gase) an sich zu verdichten und festzuhalten; so bleibt jedes Bodenpartikelchen (jede Glasperle) mit einer minimalen Lufthülle umschlossen, die auch bei innigem Schütteln mit der Flüssigkeit nicht entweicht, sondern erst durch die Wärme ausgetrieben werden kann. Diese Lufthüllen und der in ihnen vorhandene Sauerstoff be-

fördern die Gährung wesentlich; die Flüssigkeit ist auf diese Weise auf einer viel grösseren Oberfläche mit der Luft in Berührung als dort, wo sich blos Flüssigkeit und kein Boden befindet, wo also nur an der Oberfläche die Einwirkung des Sauerstoffs sich intensiver geltend macht. Der in der Flüssigkeit selbst absorbierte Sauerstoff repräsentirt dem gegenüber eine viel geringere Menge. HOPPE-SEYLER<sup>1)</sup> hat auch gezeigt, wie bei der Gährung der an der Oberfläche absorbierte Sauerstoff rasch aufgebraucht wird und nur auf sehr geringe Strecke in die Tiefe dringt.

Nach der auf S. 76 gegebenen Berechnung betrug die gesammte Oberfläche der Glasperlen in jenen Versuchsnummern, die das Maximum der Vergährung ergaben, in Nr. 3 I (5 % Hefe) 0,21 □ Meter, in Nr. 2 II (11,4 % Hefe) 0,14 □ Mt., in Nr. 4 III (17 % Hefe) 0,26 □ Mt. Um die Flüssigkeitsmenge von 10 Cbcm. derart zu vertheilen, dass sie in horizontaler Ausbreitung diese Oberflächen darbietet, müsste sie in ein Gefäss gebracht werden, dessen Durchmesser 20—40 Cm. beträgt; sie würde in diesem Falle den Boden nur in einer Höhe von 0,04—0,08 Mm. bedecken.

Als weiteres, beachtenswerthes Resultat geht aus diesen Versuchen hervor, dass die gährungshemmende Wirkung grosser Trockenheit bis zu einem gewissen Grade compensirt werden kann durch die Menge der Gährungserreger; es kann dies als eine Analogie angesehen werden zu der Erfahrung aus dem Gebiete der Infectionslehre, dass mitunter für die Infection, insbesondere für die Schwere der Infection, die Menge der eingeführten Organismen maassgebend sei. Die Zahl der Gährungserreger verhält sich in diesen drei Versuchen wie 1:2:3. Hand in Hand damit geht die Intensität der Gährung, und so wurde der Punkt, wo in Folge Wassermangels die Gährung überhaupt nicht mehr stattfinden kann, immer weiter hinausgerückt, so dass er bei dem dritten Versuch (17 % Hefe) gar nicht mehr erreicht wird.

Auch für das Aufhören der Gährung, also die Aufhebung der Lebensthätigkeit der Hefezellen bei zu grosser Trockenheit, dürfen gewisse physikalische Vorgänge verantwortlich gemacht werden. Je trockener der Boden, je grösser die Zahl der Bodenkörner im Verhältniss zur Flüssigkeit, desto dünner werden die Flüssigkeitslamellen; sie betragen z. B. in Versuch 9 nur noch 0,002 Mm. oder  $2\mu$ ; ihre Höhe erreicht also nicht einmal mehr die Dicke des Zelldurchmessers und jedenfalls wird durch die hierbei herrschenden, capillaren Spannungen in den Flüssigkeitslamellen die Diffusion gestört.

1) HOPPE-SEYLER, Ueber die Einwirkung des Sauerstoffs auf Gährungen. Festschrift u. s. w.



Die eben besprochenen Versuche beziehen sich jedoch nur auf Sprosspilze und behandeln nur eine Art von Lebensthätigkeit derselben, die Gährung, die zwar zu manchen pathologischen Processen in Analogie gebracht werden kann, die jedoch bei dem jetzigen Stande unseres Wissens doch noch nicht genügende Aufklärung über den Zusammenhang zwischen Boden und Ausbreitung von Krankheiten geben kann.

Bei der Uebertragung analoger Versuche auf Spaltpilze liess sich aber noch ein anderes biologisches Problem berücksichtigen, nämlich die Möglichkeit der Entwicklung von Dauerformen, soweit sie bereits bei einzelnen Spaltpilzen in der Form von Sporen constatirt sind. Eine Beeinflussung der Sporenbildung durch diejenigen Momente, welche wir als das Wesen der örtlichen und zeitlichen Disposition eines Bodens hingestellt haben, schien schon deshalb nicht unwahrscheinlich, als bei der Sporenbildung zwei Factoren mitwirken, Sauerstoffzufuhr und erschwerte Lebensbedingungen, wie z. B. festes Nährmaterial, welche gerade bei dem Wachsthum im Boden mit in die Erscheinung treten.

SOYKA <sup>1)</sup> hat diese Frage in analoger Weise, wie soeben geschildert wurde, mit Rücksicht auf Heubacillen und besonders mit Rücksicht auf Milzbrandbacillen einer experimentellen Prüfung unterzogen, indem er chemisch reinen Quarzsand von einem Korndurchmesser von 0,2 Mm. und einem Porenvolumen von 38,8 % mit einer mit Milzbrandbacillen (ohne Sporen) infectirten Nährlösung in derartigem Verhältniss vermengte, dass er Feuchtigkeitsschwankungen von:

150 100 75 50 25 20 10 5 % des Porenvolums resp.

588 392 294 196 98 78,5 39 19,6 Kgrm. Flüssigkeit im Cubikmeter feinen künstlichen Bodens erhielt, also Schwankungen, wie sie nach HOFMANN (S. 79) auch in der Natur vorkommen.

Da die Sporenbildung sowohl eine Function der Temperatur als auch der Zeit ist, so wurden die Versuche nach diesen beiden Richtungen hin variirt. Als Versuchsflüssigkeit diente peptonisirte und neutralisirte Bouillon. Der Nachweis der Sporen erfolgte theils morphologisch durch mikroskopische Untersuchung (Doppelfärbung), theils durch biologische Differenzirung, indem durch Erhitzung die vegetativen Formen getödtet wurden und sodann nach erfolgter Aussaat und Cultur (auf Platten) nur die Sporen zur Entwicklung gebracht wurden. Die Versuchsergebnisse lassen sich kurz in folgender Tabelle resumiren:

---

1) Bacteriologische Untersuchungen über den Einfluss des Bodens auf die Entwicklung von pathogenen Pilzen. Fortschritte der Medicin. IV. 1886.

Versuchsnummer . . . . .	0	I	II	III	IV	V	VI	VII
Die Flüssigkeit betrug in % des Porenvolums .	∞	150	100	75	50	25	20	10
Die Flüssigkeit betrug Kgrm. auf 1 Cbm. Boden	∞	588	392	294	196	98	78,5	39,2
1. Vers.-Resultat bei 36—37° C. nach 5 Stdn. a*)								
2. = = = 10 = a	keine freien Sporen	nirgends freie Sporen nachzuweisen	freie Sporen in mässiger Menge	freie Sporen in grosser Menge	keine freien Sporen	vereinzelte freie Sporen	—	—
3. = = = 24 = b	keine freien Sporen nachweisbar	—	—	—	—	—	—	—
4. = = = 24 = a	keine freien Sporen vereinzelte freie Sporen	freie Sporen vereinzelte	freie Sporen ausserordentlich massenhaft	vereinzelte freie Sporen	—	—	—	—
5. = = = 48 = a	vereinzelte freie Sporen	freie Sporen etwas reich- lieber	—	—	—	—	—	—
6. = = = 28—30° = 16 Stdn. c	keine freien Sporen	nirgends freie Sporen nachzuweisen	keine freien Sporen	freie Sporen	—	—	—	—
7. = = = 40 = c	keine freien Sporen	freie Sporen in geringer Zahl	—	sehr reichlich freie Sporen	etwas ge- ringere Anzahl freier Spor.	—	—	—
8. = = = 3 Tgn. c	—	—	—	—	—	—	—	—
9. = = = = a	—	—	—	—	—	—	—	—
10. = = = = c	sehr vereinzelte freie Sporen	freie Sporen etwas reichl.	freie Sporen sehr reichlich, Maximum	freie Sporen in mässiger Anzahl	—	—	—	—
11. = = = 5 = d	keine freien Sporen	freie Sporen in geringer Anzahl	—	massenhaft freie Sporen	—	—	—	—
12. = = = 20—24° = 2 Tgn. f	keine freien Sporen	nirgends freie Sporen nachzuweisen	freie Sporen ziemlich reichlich	freie Sporen reichlich	freie Sporen nachweisbar	—	—	—
13. = = = 3 = g	keine freien Sporen	—	—	—	—	—	—	—
14. = = = 4 = f	keine freien Sporen	—	—	—	—	—	—	—
15. = = = 6 = f	keine freien Sporen	—	—	—	—	—	—	—
16. = = = 14—19° = 7 = g	keine freien Sporen	—	—	—	—	—	—	—

\*) Die Buchstaben a, b, c u. s. w. deuten an, welche Ergebnisse zu je einem Versuche gehören.

Bei diesen Versuchen tritt zuvörderst der Einfluss des Bodens als solchen in die Erscheinung.

In sämtlichen Versuchsreihen, die bei verschiedenartigen Temperaturgraden durchgeführt wurden, sehen wir, dass es bei den dem Einflusse des Bodens unterliegenden Milzbrandbacillen stets zu einer Zeit zur Bildung von Sporen kam, innerhalb welcher dies in den Flüssigkeiten allein noch nicht geschehen war. Der Boden wirkt also zum mindesten beschleunigend auf die Entstehung der Milzbrandsporen. Während z. B. in Versuch 15. 0. in der Flüssigkeit ohne Bodenzusatz noch nach 6 Tagen keine freien Sporen nachgewiesen werden konnten, waren sie im Boden schon nach 4 Tagen nachzuweisen (14. III—VI), während sie in der Versuchsreihe 1. 2. 4. 5 in der Flüssigkeit allein (0) erst nach 48 Stunden, keineswegs vor Ablauf von 24 Stunden sich fanden, war ihre Anwesenheit im Boden schon nach 10 Stunden sicher zu constatiren (Versuch 2. III—IV) <sup>1)</sup>.

Sodann tritt, womöglich noch prägnanter, die Schwankung in der Bodenfeuchtigkeit, das quantitative Moment derselben in die Erscheinung; es scheint in der That ein gewisses Optimum der Bodenfeuchtigkeit vorhanden zu sein, bei dem sich die Sporenbildung am raschesten, am sichersten und am massenhaftesten etablirt; diejenigen Feuchtigkeitsgrade, die einer Anfüllung von 75—50 oder bis zu 25 % der vorhandenen Hohlräume mit Flüssigkeit entsprechen, scheinen für die Entwicklung von Sporen die günstigsten zu sein.

Dort, wo ein grösserer Feuchtigkeitsgehalt, 150 %, 100 %, zur Wirkung kam, entwickelten sich zwar auch Sporen, aber entweder später oder wenigstens viel weniger zahlreich, und ebenso dort, wo die Feuchtigkeit unter diesem Optimum verblieb (25 %, 20 %, 10 %), wenn auch hier die Schwierigkeiten der Untersuchung ob der allzu grossen Vertheilung zu bedeutend werden, um ein entscheidendes Urtheil zu gestatten.

SOYKA präcisirt nun den Einfluss des Bodens und der wechselnden Bodenfeuchtigkeit nach diesem Ergebniss für die Entwicklung der Milzbrandsporen (resp. Heubacillussporen) folgendermaassen:

1. „Die Sporenbildung beim Milzbrandbacillus (es gilt dasselbe für den Heubacillus), erfolgt unter Mitwirkung des Bodens viel rascher als ohne Betheiligung desselben.

---

1) Zu dieser Versuchsreihe sei bemerkt, dass dieselbe vorher durch zwei Tage bei einer Temperatur von 10—14° im inficirten Zustande aufbewahrt gewesen war.

2. „Ein bestimmtes Verhältniss zwischen Flüssigkeit und Boden, ein bestimmter Feuchtigkeitsgrad des Bodens scheint diese Entwicklung besonders zu begünstigen. Die Sporenentwicklung kann bei diesem Feuchtigkeitsgrade in der Zeit von wenigen Stunden beendet sein (vgl. Versuch b, Versuchsreihe I), während bei anderen Feuchtigkeitsgraden oder gar bei aufgehobenem Bodeneinfluss Tage vergehen können, bis es in der Flüssigkeit zur vollen Entwicklung der Sporen kommt.

3. „Der Boden im Allgemeinen und ein gewisser Grad der Bodenfeuchtigkeit im Besonderen wirkt ähnlich beschleunigend auf die Sporenbildung, wie innerhalb gewisser Grenzen die Temperatur.“

Bezüglich dieses Punktes scheint jedoch ein bestimmtes Minimum der Temperatur, wie es KOCH für die Sporenbildung beim Milzbrandbacillus mit ca. 16° gefunden, unerlässlich.

In jenen Fällen also, wo sich ein geeignetes Nährmaterial, eine günstige Temperatur und ein Optimum der Bodenfeuchtigkeit mit einander combiniren, wird sich nach SOYKA die Sporenbildung in relativ sehr kurzer Zeit einstellen.

Die Ursachen für diesen Einfluss des Bodens und der bestimmten Bodenfeuchtigkeit auf die Sporenbildung scheinen analog dem Einflusse auf die Gährthätigkeit auf einfache physikalisch-chemische Momente zurückgeführt werden zu können. Für die Bildung der Sporen sind ausser einer bestimmten Temperatur besonders zwei Momente maassgebend; eine gewisse Erschöpfung des Nährmaterials, vielleicht auch eine ungünstige Beeinflussung desselben durch die eigenen Zersetzungsproducte, und sodann eine Einwirkung des Sauerstoffs der Luft, wie dies schon für viele Spaltpilze und von KOCH speciell für den Milzbrandbacillus nachgewiesen ist <sup>1)</sup>.

Ein jedes dieser Momente kann aber im Boden unter den hier discutirten Verhältnissen in gesteigerter Weise zur Geltung kommen.

1. Was zunächst die Alteration des Nährmaterials betrifft, so sei darauf hingewiesen, dass mit Ausnahme von jenem Fall, wo 150 % der Poren mit Flüssigkeit erfüllt waren, überall die Flüssigkeit nur als Ausfüllung capillarer Hohlräume und in Form eines dünnen Ueberzugs über den Quarzkörnern vorhanden war. Vorausgesetzt, dass sich die einzelnen Körner gleichmässig mit einer Wasserhülle umgeben haben, lässt sich auch die Dicke dieser Schicht für jeden einzelnen Feuchtigkeitsgrad annähernd berechnen. Sie beträgt bei einer Feuchtigkeit

	75 %	50 %	25 %	20 %	10 %	5 %	1 %
in Mm.	0,0151	0,0105	0,0057	0,0045	0,0023	0,0011	0,0002.

In solchen dünnen, capillaren Lamellen sind nun die Cohäsionskräfte sehr mächtig, und es wird hierdurch der Austausch des Inhalts der Flüssigkeitshüllen unter einander jedenfalls sehr erschwert; wir haben auf diese Weise die mit den Milzbrandbacillen inficirte Flüssigkeit in der That in

1) Beiträge zur Biologie der Pflanzen. Bd. 2. S. 282.



eine Art festen Nährsubstrats umgewandelt, die Pilze sind, so lange keine mechanische Erschütterung, kein Schütteln des Bodens erfolgt, gewissermassen fixirt, und ähnlich wie bei der Kartoffel, nur auf eine dünne Schicht ihres Nährsubstrats angewiesen.

Es ist ferner wahrscheinlich, dass in solchen dünnen Flüssigkeitslamellen durch die gesteigerte Cohäsionskraft, durch die capillaren Spannungen auch die Diffusion eine erschwerte ist, dass also der Pilz sein Nährmaterial in der Nachbarschaft aufbraucht, es mit seinen Stoffwechselproducten sättigt, ohne dass es ebenso rasch, wie in einer freien Flüssigkeit, ersetzt wird.

Diese Betrachtung führt aber auch dazu, als das Maass für das zur Sporenbildung taugliche Optimum der Bodenfeuchtigkeit nicht so sehr das Verhältniss zwischen Flüssigkeitsmenge und Porenvolumen anzunehmen, als vielmehr das Verhältniss zwischen Flüssigkeitsmenge und Capillarität der Hohlräume, resp. Wassercapacität. Es wird die Dicke der Wasserhülle maassgebend sein, die auf einem Korn sich ablagert; und da treten, bei gleichbleibendem Porenvolumen und bei gleicher Dicke der Flüssigkeitshülle sehr bedeutende Schwankungen auf, je nach der Grösse des den Boden zusammensetzenden Kornes. Der Durchmesser der in den hier beschriebenen Versuchen verwendeten Quarzkörner betrug 0,2 Mm. Bei einem Durchmesser von 1 Mm. würde bei gleichem Porenvolumen die Menge des in einer gleich dicken Schicht zurückgehaltenen Wassers nur noch den fünften Theil der Flüssigkeit betragen.

2. Was sodann die gesteigerte Einwirkung des Sauerstoffs anbelangt, so ist zu bedenken, dass das hier zur Anwendung gelangte Bodenmaterial eine Oberfläche repräsentirt, die diejenige, mit welcher sonst die Flüssigkeit mit der Luft in Berührung kommt, weit übertrifft. Ein Analogon bieten auch die Versuche LÖFFLER's (Mittheilungen aus dem Gesundheitsamte I.), welche die Begünstigung der Sporenbildung in dünnen Flüssigkeitsschichten demonstrieren. In den Versuchen, wo, bei gleicher Quarzmenge, die Flüssigkeitsmenge variierte, betrug die Oberfläche sämtlicher Körner  $949 \square \text{ Cm.}$ , das mehr als 75fache derjenigen Fläche, mit welcher die Flüssigkeit an und für sich in dem Kölbchen mit der Luft in Berührung stand (der Durchmesser der Kölbchen betrug 4 Cm., der Querschnitt also  $12,56 \square \text{ Cm.}$ ), auf diese Weise ist eine intensive Einwirkung des Sauerstoffs um so leichter zu verstehen, als die Flüssigkeitsschichten sehr dünn und der Sauerstoff auf dieselben sogar von zwei Seiten einzuwirken vermag: Alle festen Körper condensiren an ihrer Oberfläche Gase, die sie erst bei höheren Temperaturen abgeben; nach CHAPPUIS condensirt  $1 \square \text{ Mm.}$  Glasoberfläche  $0,00035 \text{ Cbmm.}$  Luft, nach BUNSEN gar  $0,0507 \text{ Cbmm.}$  Kohlensäure (vergl. S. 76). Diese Lufthüllen werden durch die Flüssigkeit bei niedriger Temperatur nicht verdrängt, die Flüssigkeitshüllen legen sich offenbar über sie und werden also von zwei Seiten von Luft umspült.

Diese Erscheinung erklärt offenbar auch jenes vielleicht paradox erscheinende Resultat, nach welchem ein Boden, dessen sämtliche Poren mit Flüssigkeit gefüllt sind, ja, der sogar von Flüssigkeit überschichtet ist, doch die Sporenbildung beschleunigt. Es sind hier offenbar die Lufthüllen um die einzelnen Bodenkörner, die die Sporenbildung beschleunigen.

nigen, um so leichter beschleunigen, als die Milzbrandbacillen bei ihrem typischen Wachsthum in Flüssigkeiten sich nicht an der Oberfläche, sondern in den tieferen Schichten, am Boden entwickeln. Dann wird auch noch die durch die Einlagerung des Bodens bedingte Erschwerung innerer Strömungen in der Flüssigkeit mitwirken.

Gelangen also milzbrandhaltige Flüssigkeiten, die ein geeignetes Substrat für die Sporenbildung abgeben (Milzbrandblut), auf die Bodenoberfläche, und werden sie hier aufgesaugt, so wird es gewiss in einer grossen Zahl der Fälle und in einem grossen Theil des Jahres zur Sporenbildung kommen müssen, und zwar sind hierher folgende zwei Gründe maassgebend:

1. Die relative Schnelligkeit, mit der sich bei geeigneter Temperatur und bei günstiger Feuchtigkeit die Sporen im Boden bilden (S. 232).
2. Die Fixirung und langsame Abwärtsbewegung der in den Boden eindringenden Flüssigkeit (S. 177).

Die Flüssigkeit, die in den Boden einsickert, wird sich an die Bodenpartikelchen anlegen und eine diffuse Verunreinigung erschweren, die dagegen in Flüssigkeiten allein, die auf der Oberfläche, als stehende Flüssigkeitsschicht, sich ausbreiten, leicht zu Stande kommt. Während in der Flüssigkeit allein der Milzbrandbacillus durch Fäulniss, Austrocknen u. dergl. früher zu Grunde geht, bevor es zur Sporenbildung kommt, wird er im Boden leicht bis zu diesem Stadium gelangen, das ohnehin viel früher eintritt, begünstigt durch den Umstand, dass diese Stoffe eine längere Zeit in den obersten Bodenschichten verweilen.

Zu diesem langen Verweilen in den obersten Bodenschichten kommen sodann die durch die Insolation bedingten eigenartigen Temperaturverhältnisse gerade dieser oberflächlichsten Bodenschichten (S. 142 ff.), soweit es sich um den täglichen Gang derselben handelt. Dass diese Temperatur der obersten Bodenschichten zu bestimmten Tages- und Jahreszeiten sehr hohe Grade erreichen kann, geht schon aus den bisher bekannten Beobachtungen hervor.

Es genügt hier jedoch nicht, sich auf die Betrachtung von Monats- oder Stundenmitteln zu beschränken, man muss die zu bestimmten Tagesstunden wirklich beobachteten Temperaturen in Berücksichtigung ziehen. Aus der geringen Anzahl verwerthbarer Beobachtungen, die existiren, seien hier die für Mitteleuropa ziemlich maassgebenden Temperaturen der Bodenoberfläche Magdeburgs <sup>1)</sup> angeführt. Es sind

1) Jahrbuch der meteorologischen Beobachtungen der Wetterwarte der Magdeburgischen Zeitung. Herausgegeben von R. Assmann. II. 1883.

die innerhalb eines Monats wirklich zur Beobachtung gelangten Maxima und Minima (keine Mittelwerthe) angeführt und sei noch bezüglich der Würdigung derselben besonders hervorgehoben, dass diese Erwärmung der Erdoberfläche sich doch noch bis in eine gewisse Tiefe erstreckt. Nach den Beobachtungen in Tiflis (l. c.) ist die Temperatur des Bodens in einer Tiefe von 0,01 Meter wohl vielfach um 2—5° niedriger als die der Erdoberfläche, aber sie ist auch vielfach höher, ja sie übertrifft die Temperatur der Erdoberfläche bis um 8,6°, wie dies z. B. am 6. Aug. 1880 gewesen, wo die Bodenoberfläche um 2 h. p. m. 44,7° C., die Tiefe von 0,01 Meter aber 53,3° C. hatte, und am 18. Aug. 1880 um 2 h. p. m. betrug sogar die Differenz zu Gunsten der Bodentiefe von 0,01 Meter 13,7°, die Bodenoberfläche hatte 37,7°, die Tiefe von 0,01 Meter 51,4°.

Erbodentemperatur in 0,00 Meter Tiefe in Magdeburg 1883.

	8 h. a. m.		2 h. p. m.		8 h. p. m.		gröss- tes	klein- stes	gröss- tes	klein- stes
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Minimum		Maximum	
Januar . .	—6,4	7,4	—1,8	9,8	—4,8	4,8	—8,5	4,2	10,0	—0,8
Februar . .	—2,4	5,2	0,2	9,6	—0,4	6,5	—4,3	+ 0,8	11,3	0,5
März . . .	—5,4	0,6	—1,4	9,2	—1,4	2,8	—10,4	—0,8	12,3	—0,6
April . . .	0,2	10,0	6,2	21,4	2,6	11,4	—3,0	5,0	30,3	7,0
Mai . . . .	7,0	20	11,4	35,6	8,4	22,8	0,3	14,7	44,0	16,5
Juni . . . .	15,8	25,8	21,0	44,4	17,8	27,0	7,0	16,2	47,8	25,4
Juli . . . .	13,4	28,2	17,2	48,2	13,6	29,2	7,5	18,8	54,0	21,7
August . . .	14,2	23,3	18,0	41,2	12,9	23,0	6,7	15,9	45,0	21,3
September .	7,2	20,0	14,2	32,0	8,2	21,2	4,8	13,6	40,5	16,0
October . . .	3,8	12,0	9,2	20,4	3,7	11,6	—1,0	9,9	23,2	10,0
November . .	—1,0	7,0	2,0	10,8	0,2	8,5	—3,0	6,0	13,8	4,8
December . .	—5,4	5,4	—1,2	8,2	—4,8	7,4	—8,0	4,3	7,3	—0,4

Es geht aus dieser Tabelle hervor, dass auch in unseren Gegenden durch längere Zeit des Jahres hindurch in der Bodenoberfläche resp. den obersten Bodenschichten wenigstens zeitweilig Temperaturen herrschen, die das Zustandekommen einer solchen Sporenbildung des Milzbrands ermöglichen. Auch KOCH macht schon in seiner Discussion über die Rolle, welche die Regenwürmer beim Transport der Milzbrandorganismen spielen sollen, darauf aufmerksam, dass, wenn sich Milzbrandsporen überhaupt im Boden bilden, sie dies nur in den obersten Schichten thun können, und dass sich auch da häufig hierzu Gelegenheit finden wird.

Auch im entgegengesetzten Sinne aber, im Sinne der Abschwächung, der atténuation du virus, soll der Boden einwirken können.

FELTZ<sup>1)</sup> füllte einen 54 Cm. langen, 18 Cm. hohen, 17 Cm. breiten Holzkasten mit Boden, der stellenweise mit frischem Milzbrandblut und mit Milzbrandculturen untermischt war, und setzte ihn dann am Laboratoriumsfenster der Einwirkung der frischen Luft, den Veränderungen der Temperatur aus.

Von Zeit zu Zeit wurden nun diesem Boden Proben entnommen und mit denselben, theils im trockenen Zustande, theils im wässerigen Auszug, Impfungen gemacht.

					Resultat der Impfung von	
					6 Kaninchen	6 Meer- schweinchen
Am 1. Febr. 1882 (Ablauf von 2 Monaten)					{	Gingen sämmtlich an Milz- brand zu Grunde.
= 1. Mai 1883	=	=	5	=		
= 1. Juli	=	=	7	=		
= 1. Oct.	=	=	10	=		
= 1. Jan. 1884	=	=	13	=		
= 1. April	=	=	16	=		
= 1. Aug.	=	=	20	=		
= 1. Nov.	=	=	23	=		
= 1. Jan. 1885	=	=	25	=		
= 6. Juli	=	=	31	=		
= 5. Dec.	=	=	36	=		
					{	5 Kaninchen todt, 1 über- lebt.
					Alle Kaninchen überleben.	
					{	Gingen sämmtlich an Milzbrand zu Grunde.

Aus dem Umstande, dass in den späteren Versuchen die Kaninchen ganz oder theilweise verschont blieben, die Meerschweinchen aber stets in gleicher Weise weggerafft wurden, glaubt F. auf eine Abschwächung des Milzbrandbacillus im Sinne der PASTEUR'schen atténuation du virus schliessen zu dürfen; er glaubte das Gift in analoger Weise wie z. B. durch Cultur bei höheren Temperaturen abgeschwächt zu haben.

Die Beweisführung ist jedoch eine unvollständige, und der ganze Versuch lässt vielmehr eine andere Deutung zu. Entsprechend den Untersuchungen über die geringe Lebensdauer der Milzbrandbacillen ist anzunehmen, dass es sich hier bei den späteren Versuchen ausschliesslich um Sporen gehandelt hat, die nun wohl nicht gleichmässig vertheilt und wahrscheinlich hauptsächlich in den oberflächlichsten Schichten vorhanden waren, es ist also nicht ausgeschlossen, dass diese scheinbare Abschwächung nur eine quantitative gewesen, eine allmähliche Verminderung der Milzbrandkeime, so dass hierdurch die quantitativen Verhältnisse der Infection sich allmählich ungünstiger gestalteten. Um im Sinne PASTEUR's den Beweis der Abschwächung zu führen, hätte FELTZ Culturversuche mit dem Boden anstellen und bei den neu gezüchteten Milzbrandorganismen abermals die Abschwächung constatiren müssen. Nach PASTEUR erhält sich ja diese abgeschwächte Virulenz in den späteren Generationen.

Es ist wohl unzweifelhaft, dass fortgesetzte Untersuchungen noch mannigfache Beziehungen zwischen Boden und Mikroorganismen feststellen werden. Jedenfalls geht aus dem bisher Bekannten hervor,

1) Comptes rendus. 1886.



dass gewisse Factoren im Boden wirklich einen Einfluss sowohl auf die Verbreitung als auch auf die Entwicklung und Lebensthätigkeit der niederen Organismen nehmen können, dass diese Factoren hauptsächlich als physikalisch-chemische Zustandsänderungen in die Erscheinung treten, als solche, welche gewisse Beziehungen zwischen Luft, Wassergehalt und Temperatur des Bodens feststellen, jene Momente, die wir (S. 225) als das Wesen der örtlichen und zeitlichen Disposition auffassen.

---

## ZWEITER THEIL.

# Die Erscheinungsformen des Bodens.

---

## ERSTES CAPITEL.

### Geologischer Aufbau des Bodens <sup>1)</sup>.

Für die Würdigung des Einflusses, welchen der Boden auf den Menschen, auf die Ausbreitung von Krankheiten nehmen kann, genügen die im ersten Theile analysirten Vorgänge keineswegs. Wenn es auch ausgesprochen werden kann, dass wir wahrscheinlich alle im Boden gelegenen Bedingungen der Ausbreitung und Entwicklung von Krankheitskeimen auf gewisse einfache physikalisch-chemische Zustandsänderungen der einzelnen Bodenbestandtheile zurückführen werden können, so muss andererseits betont werden, dass die Bedingungen wieder dieser physikalisch-chemischen Zustandsänderungen nicht so sehr in den einzelnen Bodenbestandtheilen an sich, als vielmehr in jener Gruppierung, in jener wechselseitigen Beeinflussung zu suchen sind, wie sie durch den geologischen Aufbau, durch die Gestaltung und Gliederung der Erdoberfläche ihren Ausdruck findet.

Wohl ist man von jener Verallgemeinerung zurückgekommen, zu der früher das Studium der vergleichend historisch-geographischen Pathologie geführt hatte, und welche dem geologischen Charakter des Bodens auch ein bestimmtes epidemiologisches Gepräge aufdrückt; so wollte man das Fehlen der Phthise in Schweden und Finnland auf den Einfluss der Urgebirgsformation, die grosse Fre-

---

1) Bei diesem Capitel erfreute ich mich der Mitarbeiterschaft meines Freundes Dr. A. PENCK, Professor der Geographie in Wien.

quenz der ersteren in London, Paris, Wien aber auf Tertiärboden zurückführen. Vulkanischer Boden sollte eine Immunität gegen Ausbreitung des Kropfes besitzen, Thonschiefer denselben begünstigen oder gar bedingen. Die Ausbreitung der Cholera sollte vorzüglich auf dem Alluvium, dann auf Grobkalk, Thon, den kohlenführenden Schichten und dem von den Engländern so genannten Magnesiakalkstein (Zechstein), wie er in Sunderland vorkommt, erfolgen; selten zeige sie sich auf dem mittleren und oberen Sandstein, auf Quarzconglomeraten, auf Kreide, auf dem Uebergangsgebirge und zuletzt auf dem Urgebirge. Die zahlreichen Widersprüche und Ausnahmen, die allmählich immer häufiger diese Gesetze durchbrachen, waren jedoch nicht so sehr der Ausdruck dafür, dass ein solcher Zusammenhang nicht existirte, dieser Zusammenhang konnte vielmehr nur deshalb nicht seine prägnante Form finden, weil die Geologie in ihren Befunden, in ihrer Classification nicht das auszudrücken vermochte, was die Medicin, die Epidemiologie in ihr suchte.

Denn dadurch, dass der Geologie als wesentlichstes und wichtigstes Ziel die Aufgabe gestellt ist, die Geschichte der Erdkruste aus den dieselbe zusammensetzenden Gesteinen zu ermitteln, entfernt sie sich begreiflicher Weise weit von jenen Zielen, welche einer eigentlichen Bodenkunde vorschweben. Den genetischen sowie historischen Forschungen der Geologie kommt für hygienische Zwecke fürs Erste keine irgend welche Bedeutung zu, so lange es sich nicht um die Entstehung der sogenannten Oberflächenbildungen handelt. Da nun aber doch alle derartigen geologischen Bildungen an die Oberfläche gelangen, an der Oberflächenbildung theilnehmen können, so ist es nothwendig, wenigstens in Kurzem auf jene Classification der Gesteine zurückzukommen, welche seitens der historischen Geologie in Anwendung gebracht worden, und welche zum Verständniss irgend welcher geologischen Verhältnisse unbedingt nöthig ist.

### A) Geologische Classification der Erdkruste.

Die Geologie gruppirt die verschiedenen Gesteine je nach ihrem Alter in verschiedene Abtheilungen und Complexe, welche sich theils durch ihre Bildungszeit, theils durch ihre Bildungsart als zusammengehörig erweisen. Derartige Complexe nannte man bislang Formationen, ohne im Ausdrücke also Bildungszeit und Entstehungsart anzuzeigen. Neuerlich ist jedoch in Vorschlag gebracht worden, Complexe gleicher Bildungszeit als Systeme zu bezeichnen und den Namen Formation, wie in dessen wörtlicher Bedeutung begründet ist, für Gruppen gleicher Entstehungsart zu reserviren. Man redet nunmehr von marinen, lacustren, fluviatilen, vulkanischen und glacialen Formationen, um damit

die Entstehung gewisser Gesteine im Meere, in Binnenseen, durch Flussanschwellungen, vulkanische oder Gletscher-Thätigkeit zu bezeichnen. Ein geologisches System hingegen, oder nach früherer Ausdrucksweise eine geologische Formation, umfasst alle die Gebilde, welche während eines bestimmten Abschnittes der Erdgeschichte, während einer geologischen Periode entstanden sind; da während aller geologischen Perioden marine Sedimente, fluviatile und vulkanische Formationen entstanden, so besteht also ein System aus einem Complexe heterogener Elemente, welche allein hinsichtlich ihrer Bildungszeit als zusammengehörig sich erweisen, welche überdies jedoch häufig mit einander in innigem Connexe stehen und in einander geschaltet sind. An verschiedenen Stellen ist die Ausbildungsweise eines Systems eine sehr differente, seine Facies wechselt oft auf kurzen Strecken, während in anderen Fällen ein und dasselbe System über grosse Entfernungen eine derartig gleichbleibende Zusammenstellung bewahrt, dass es an meilenweit entlegenen Punkten genau denselben Aufbau zeigt. Dies gilt namentlich von den Systemen jener Länder, in welchen das geologische Studium erwachte, und es sind daher häufig ursprünglich petrographische Localbezeichnungen, wie Keuper, Lias, Kreide u. s. w., zur Bezeichnung geologischer Gruppen von verschiedener Ausbildung verwerthet worden, in welchen dann allerdings mitunter der hygienische Charakter des Bodens seinen Ausdruck fand (vergl. S. 8 ff.).

Die Zeitabschnitte, in welche die Geologie die Erdgeschichte gliedert, werden fixirt durch gewisse Entwicklungsphasen des organischen Lebens. Die Bildungen des ersten Zeitalters, des archaischen, der Urzeit, enthalten keinerlei Spuren von Organismen, es wird daher dieses Zeitalter auch als das azoische (leblose) bezeichnet. Diesem archaischen oder azoischen Zeitalter gehört die Hauptmasse der krystallinischen Schiefergesteine an; Gneisse, Lagergranite, Glimmerschiefer und Phyllite sind die Repräsentanten desselben; innerhalb der Urformation hat man eine regelmässige Aufeinanderfolge von Gneiss, Glimmerschiefer und Phyllit wahrgenommen, so dass man wohl auch von Gneiss-, Glimmerschiefer- und Phyllitformationen redet und von einem laurentischen und huronischen Systeme spricht, welches ersteres, die Gneissbildungen umfassend, hier und da in ein älteres bojisches und ein jüngeres hercynisches System gegliedert wird. Sind Gneisse, Lagergranite, Glimmerschiefer u. s. w. die Sedimente der Urzeit, so stellen grosse Granitstöcke die vulkanischen Gebilde derselben dar, welche man wegen ihrer, von der der heutigen vulkanischen Gesteine abweichenden Ausbildung als plutonische Gebilde bezeichnet.

Mit dem Alterthum der Erdgeschichte, dem paläozoischen Zeitalter, stellen sich die ersten Anfänge des organischen Lebens dar. Man begegnet in den Ablagerungen dieses Zeitalters den Resten von Muscheln, Schnecken, Cephalopoden und Crustaceen, dazu gesellen sich später Fische, sowie auch Amphibien. Von Pflanzen waren nur Kryptogamen erschienen, von welchen Schachtelhalme, Bärlappe und Farne eine sehr beträchtliche Entwicklung zeigten. Man gliedert die paläozoische Gruppe in das cambrische, silurische, devonische, carbonische und dyasische System, welche die Ablagerungen der entsprechend benannten



Perioden bilden. Das cambrische, silurische und devonische System sind namentlich in England und Nordamerika in grosser Mächtigkeit und reichhaltiger Gliederung entwickelt, sie werden hier wie da in viele Unterabtheilungen, in Stufen oder Etagen zerlegt. In Deutschland und Frankreich werden sie meist durch versteinungsarme Schiefer und Grauwacken repräsentirt, welche man früher als Grauwackenformation zusammenfasste. In Mittelböhmen findet sich das Silur namhaft entwickelt, das rheinische Schiefergebirge mit seinen Schiefern und Grauwacken gehört dem Devon an. Das carbonische System der Kohlenperiode wird nahezu überall auf der Erde durch eine gleiche Entwicklung ausgezeichnet, es birgt die mächtigsten Steinkohlenlager, welche ihm eine erhöhte technische Beachtung sichern. Die Dyasperiode ist in gleicher Weise durch eine uniforme Entwicklung charakterisirt. Ihre Ablagerungen gliedern sich in Deutschland in das Rothliegende, den Kupferschiefer und Zechstein, welche nahezu überall durch dieselbe Beschaffenheit ausgezeichnet sind. Mächtige Melaphyr- und Porphyrmassen (Rheinpfalz, Thüringerwald, Sachsen) sind die Eruptivgesteine der Dyasperiode, während Diabase und Granite die charakteristischen Massengesteine der Silur- und Devonperiode sind.

Im mesozoischen Zeitalter der Erde, dem Mittelalter, werden zu den Thieren des Alterthums vor Allem Reptilien, später Säugethiere und Vögel, zu den Pflanzen Gymnospermen und gegen Schluss des Zeitalters die Dicotyledonen hinzugefügt. Reptilien und Gymnospermen sind die herrschenden Formen beider Reiche. Dem mesozoischen Zeitalter entsprechen die secundären Formationen nach der älteren Bezeichnung; es wird gegliedert in die Trias-, Jura- und Kreideperiode.

Die Trias hat ihren Namen von der Dreitheilung, welche sie in Deutschland und Nordfrankreich zeigt. Sie gliedert sich hier in Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper. In England fehlt der Muschelkalk; Sandstein und Letten des Buntsandsteins verschmelzen hier zu dem New red Sandstone. In den Alpen herrscht wiederum eine andere Entwicklung. Auf den Buntsandstein und Muschelkalk folgen hier mächtige Kalke, wie der Wetterstein, Hallstätter-, Esinokalk, sowie die so malerische Bergformen gewährenden Dolomite Südtirols, als Repräsentanten des Keupers, und die Zwischenbildung zwischen Trias und Jura, das Rhät, erscheint hier als ein mächtiger, aus Kalken aufgebauter Complex.

Ebenso wie die Trias zeigt der Jura in Deutschland, sowie auch in England und Nordfrankreich, eine durchgreifende Gliederung. Man zerlegt das System in den unteren schwarzen, mittleren braunen und oberen weissen Jura, wozu sich in England, Nordfrankreich und Hannover noch der Wealden, die Wälderthonformation, gesellt. In den erwähnten Ländern ist der schwarze Jura oder Lias allenthalben als ein grauer Mergelkalk mit schiefrigen, oft bituminösen Einlagerungen entwickelt; der braune Jura oder Dogger ist meist ein eisenschüssiger Sandstein, der weisse Jura oder Malm ein weisser Kalkstein, welcher das Juragebirge in seiner ganzen Erstreckung zusammensetzt. Einer anderen Entwicklung des Jura begegnen wir in den Alpen, in Italien, sowie in Südfrankreich. Hier sind es fast ausschliesslich Kalke, welche das ganze System aufbauen.



Das Kreidesystem (cretaceisches System), welches man in die obere und untere Kreide oder in das Neocom und Gault einerseits, Cenoman, Turon und Senon andererseits gliedert, zeigt in Europa in den verschiedenen Provinzen eine sehr verschiedene Ausbildung. Die obere Kreide erscheint in Nordfrankreich, England und Norddeutschland als die bekannte weisse Kreide; in Mittelddeutschland wird sie durch die Formation des Quadersandsteins (Nordharz, sächsische Schweiz, Regensburg) repräsentirt, in den Alpen und Südfrankreich, in der sogenannten mediterranen Provinz, dagegen ist sie wieder anders ausgebildet. Hier erscheint sie in Gestalt fester weisser Kalke, welche namentlich auf der Balkanhalbinsel eine grosse Rolle spielen.

Die Neuzeit der Erde zeigt alle Formenkreise der Organismen vertreten; Säugethiere und Dicotyledonen haben sich zu einer dominirenden Stellung aufgeschwungen, und deutlich macht sich während dieses känozoischen Zeitalters eine Annäherung an den heutigen Zustand bemerklich. Tertiär und Quartär sind die einzigen Perioden, welche ihm angehören. Das Tertiärsystem zeigt gegenüber älteren einen besonderen Reichthum an verschiedenen Ausbildungsweisen, Facies, welcher sich nicht nur darin geltend macht, dass es in Mittel-Europa in der verschiedensten Weise erscheint, sondern auch darin, dass selbst an benachbarten Orten die Unterabtheilungen in ihrer Ausbildung Schritt für Schritt wechseln. Es lässt sich daher für das Tertiär keine allgemeine Gliederung aufstellen, welche, in Mittel-Europa wenigstens, eine und dieselbe petrographische Entwicklung zeigte; seine Unterabtheilungen, das Eocän, Oligocän, Miocän und Pliocän, sind an den verschiedenen Punkten ihres Auftretens durch verschiedene Gesteine charakterisirt, bald durch Sand, bald durch Kalkstein, bald durch Mergel; auch die einzelnen Glieder wechseln rasch ihren Gesteinscharakter. So ist bei Wien das Mittelmiocän bald als Thon, als Tegel von Baden entwickelt, bald als Sand am Fusse des Kahlenberges, bald als grobes Conglomerat, bald als Kalk im Leithagebirge. In seinem räumlichen Auftreten lässt das Tertiär deutlich eine Absonderung in verschiedene Becken erkennen. Das untere Tertiär (Eocän und Oligocän) bildet das grosse London-Pariser Becken, das jüngere Tertiär (Miocän) das Mainzer und Wiener Becken. Die grosse Braunkohlenformation Norddeutschlands gehört grösstentheils dem Oligocän an, während das Tertiär, welches die Donauhochebene bildet, zum oberen Miocän gerechnet wird (Untergrund von München). Das Pliocän ist namentlich in Italien entwickelt.

Während der Tertiärperiode machte sich allenthalben in Europa eine intensive vulkanische Thätigkeit geltend. Die Basalte in Irland, Mittelddeutschland und Böhmen, die Trachyte des Rheinlandes (Siebengebirge) und Ungarns (Schemnitz), die Phonolithe der Auvergne und des Höhgau, sie alle sind vulkanische Gesteine des Tertiärs, und die heissen Quellen, welche Böhmen, Ungarn, den Ostabfall der Alpen, die Gegend von Frankfurt a./M. und die Euganeen bei Padua (Battaglia) auszeichnen, können als die letzten Nachwirkungen vulkanischer Thätigkeit aus der Tertiärperiode angesehen werden.

Ganz besonderes Interesse erregen neuerlich nach jeder Richtung hin die Ablagerungen der Quartärperiode, der Diluvialzeit, und zwar

nicht nur weil sie von namhaften Veränderungen unterrichten, welche während der jüngsten Phase der Erdgeschichte im Beisein unserer heutigen Flora und Fauna und in Gegenwart des Menschen spielten, sondern weil sie es vor Allem sind, welche den Boden bilden, auf welchem sich die menschlichen Geschicke abspielen. Die älteren Gebilde treten selten unvermittelt zu Tage, nicht nur sind sie von einer Verwitterungskruste oft bis zu namhafter Tiefe verhüllt, sondern auch gewöhnlich lagert über ihnen eine Decke quartärer Gebilde. Die ausgedehnten Ackerbauregionen in Deutschland, Ungarn und Russland benutzen quartären Boden, die uralten Culturländer in China, Indien, Kleinasien und am Nil erstrecken sich auf quartären Gebilden.

Die quartären Ablagerungen sind vornehmlich zweierlei Ursprungs. Auf der einen Seite hat man ausgedehnte fluviale Bildungen, auf der anderen nicht minder beträchtliche Glacialformationen als die Werke jener Gletscher, welche während der Quartärperiode im Norden Europas und Nordamerikas sich insgesamt über ein Areal von 470 000 deutschen Quadratmeilen verbreiteten. Fluvialen Ursprungs sind die ausgedehnten Geröll- und Lehmablagerungen, welche im Unterlaufe der grossen Ströme auftreten, und das chinesische Tiefland, die Ebenen Indiens, die Po- und Donauebenen bilden. Quartäre Flussanschwellungen finden sich ferner häufig als Terrassen in Flussthälern und bilden den unmittelbaren Boden grosser Städte (Paris, altes Seinergeröll; London, Wien z. Th., München, Dresden). Von besonderer Wichtigkeit sind die Glacialformationen. Dieselben erscheinen sowohl im Norden Europas, als auch Nordamerikas als ein zäher, thonig sandiger Geschiebelehm, welcher meist für Wasser undurchlässig ist und sich dadurch in Gegensatz zu den durchdringbaren Quartärgeröllablagerungen bringt. Häufig sind diesem Geschiebelehm einzelne Sand- und Geröllpartien eingebettet. Derselbe ist in Schweden derart allgemein verbreitet, dass ältere Gesteine nur local zu Tage treten; er bildet ferner den Boden der norddeutschen Ebene, hier allerdings in Connex mit Kiesen und Schottern, er überdeckt grosse Strecken in Nordamerika. Die Bildung sehr mächtiger Verwitterungslehme ist ein weiteres Product der Quartärperiode. Derartige Verwitterungslehme, welche man auch als Eluvialbildungen bezeichnet, spielen in Nordfrankreich (*Argile à silex*), in Italien (*Terra rossa*), in Ungarn (*Nyirio*), in Ostindien, Centralafrika und Brasilien (*Laterit*) eine sehr beträchtliche Rolle. Sie überziehen als fast ununterbrochene Decke sämtliche älteren Gesteine, und sie sind daher der eigentliche Boden. Auch der Löss in Mitteleuropa, Kleinasien, China und Nordamerika, welcher als angewelter Steppenboden zu deuten ist, gehört zu den quartären Ablagerungen. So ausgedehnt und wichtig die continentalen Bildungen des Quartärs sind, so wenig bedeutend sind die marinen Formationen dieser Periode; dieselben beschränken sich nur auf Küstenländer (Skandinavien).

Nicht mindere Wichtigkeit wie die quartären Ablagerungen oder Diluvialgebilde besitzen aber diejenigen Ablagerungen, deren Bildung noch heute fort dauert und welche als Novärformationen oder Alluvium zusammengefasst werden. Unablässig schreitet die Bildung von Verwitterungsproducten fort; wo Gesteine anstehen, arbeiten der Wechsel von Hitze und Kälte, das Eindringen der Feuchtigkeit und Wurzeln fort an

deren Zertrümmerung und an der Erzeugung von Verwitterungsgebilden, sie bilden die Dammerde; die atmosphärischen Niederschläge, nicht minder aber auch Wind und animalische Thätigkeit verschleppen fortwährend diese Verwitterungsproducte, und so sieht man am Fusse steiler Abhänge in Hochgebirgen gewöhnlich sehr mächtige Trümmer- oder Schutthalden, deren Ablagerung häufig bereits geschlossen ist. Aber auch in Hügelländern finden sich an den Gehängen verschwemmte oder gerutschte Materialien, welche namentlich da, wo lose Gesteinsarten anstehen, grosse Ausdehnung erreichen; so sieht man allenthalben in Lössdistrikten den Löss an den Höhen herabgewaschen, und am Fusse sandiger Gehänge begegnet man gewöhnlich herabgeschwemmten Materialien. Es bedarf nur eines kurzen Hinweises auf die Ablagerungen von Flüssen im Inundationsgebiete, welche heute noch erfolgen, und welche bald kiesiger, bald schlammiger Natur sind (Nil), sowie an das Fortwachsen der Deltas ins Meer hinaus (Podelta), um an die wichtige Fortarbeit fluvialer Thätigkeit zu erinnern, während das Fortwandern der Dünen handgreiflich die Wirkungen des Windes vor Augen führt (Dünen an der Ostsee und Nordsee, Dünen im Flachlande Norddeutschlands, der Gegend von Nürnberg und Frankfurt a./M.). Bekannt genug ist endlich das Weiterwachsen der Moore, die Fortdauer der Kalktuff(Travertin)bildung von Quellen in kalkhaltigen Gebieten, das stete Anwachsen der Absätze von Thermen und die noch vor sich gehende Gesteinsablagerung durch vulkanische Processe, wobei namentlich an die oft über weite Flächen verbreitete Anhäufung von vulkanischen Aschen und Sanden zu denken ist.

Allen jenen noch fortgehenden Gesteinsbildungen ist eigenthümlich, dass ihnen mehr oder minder reichlich organische Substanzen beigemengt sind. Das gilt besonders von den Sedimenten der Flüsse in Deltas. Nicht nur äussern sich diese organischen Substanzen in schädlicher Weise im Trinkwasser jener Gebiete (Weichseldelta, Niederland), sondern führen hier und da auch zur Erzeugung von Kohlenwasserstoffen, welche, wie bei Bohrungen erkannt, reichlich in den Anschwemmungen vorhanden sind, auf welchen Venedig steht, und die im Delta des Mississippi hier und da zu förmlichen kleinen Eruptionen führen.

Gerade den zahlreichen, geologisch meist allerdings unscheinbaren Gebilden der Quartär- und Novärzeit kommt also bei einer Bodenkunde besonderes Interesse zu, und sie sind es vor Allem gewesen, welche bisher hinsichtlich ihrer physikalischen Beschaffenheit am genauesten studirt sind. Gerade aber auch die Quartär- und Novärgebilde, das Diluvium und Alluvium, zeichnen sich durch den häufigen Wechsel ihrer Beschaffenheit aus, und in diesem Wechsel liegt die Ursache, warum es nur in seltenen Fällen hat gelingen können, klare Beziehungen zwischen Boden und hygienischen Fragen zu ermitteln. Es ist kein Zufall, dass gerade in München derartige Beziehungen zuerst aufgefunden wurden, denn in München treten die Quartärgebilde in einer ungewöhnlichen Einheitlichkeit auf.

## B. Lagerungsverhältnisse der Bodenbestandtheile.

Die Art und Weise, in welcher die verschiedenen Gesteine vorkommen und durch ihr Zusammentreten den Bau der Erdkruste bedingen, ist ausser-



ordentlich verschieden, und diese Lagerungsverhältnisse zu erforschen ist Aufgabe der stratigraphischen Geologie.

Die beiden Hauptgruppen von Gesteinen, die geschichteten und massigen, welche wir unterschieden, verhalten sich in ihren Lagerungsverhältnissen sehr different, und damit auch machen sich tiefgreifende Unterschiede in ihrer physikalischen Beschaffenheit geltend, besonders beim Hinzutreten jenes petrographischen Bestandtheils der Erdkruste, des Wassers, der für die hygienische Beurtheilung des Bodens von so grosser Bedeutung ist.

Die Schichtgesteine documentiren ihre Schichtung der Regel nach durch ein System feiner Klüfte und Sprünge, welche den Schichtflächen folgen, und zwar derart, dass sie bisweilen ermöglichen, Schicht für Schicht zu entfernen. Fehlen, wie nicht selten der Fall, Fugen zwischen den verschiedenen Schichten, so offenbart sich die Schichtung durch leise Nüancirungen im petrographischen Charakter. Oft geht beides aber Hand in Hand, es differiren nicht nur die verschiedenen Schichten hinsichtlich ihrer Zusammensetzung, sondern sind auch durch Klüfte von einander getrennt. Zumal in Kalkgesteinen sieht man die einzelnen Kalkschichten durch thonige Lagen von einander getrennt. Die Mächtigkeit der Schichten, ihre Stärke, schwankt in weiten Grenzen, sehr starke Schichten nennt man wohl auch Bänke.

Verschiedene Schichtgesteine können entweder gleichmässig über einander liegen, concordant, in welchem Falle die Schichtflächen des einen Gesteines genau denen des anderen parallel lagern, oder sie liegen discordant über einander, dann haben die Schichtflächen eine verschiedene Stellung zu einander. Untersucht man die Erstreckung zweier Schichtgesteine, so sieht man oft das obere weiter als das untere sich ausdehnen, es besitzt eine übergreifende Lagerung; ferner beobachtet man bei der Verfolgung eines Schichtencomplexes, dass eine Schicht dünner und dünner wird und schliesslich ganz verschwindet, sie keilt sich aus. Gelegentlich stellt sich statt ihrer dann eine andere Schicht ein, und indem sich dies in einem Complex in der Verticalen mehrfach wiederholt, greifen Schichten verschiedener Gesteine in einander ein. Die Stelle, wo eine Schicht unter einer anderen an der Erdoberfläche zum Vorschein kommt, heisst ihr Ausstrich oder Ausbiss. Schichten nutzbarer Gesteine heissen Flötze oder Lager.

Die Stellung der Schichten wird durch ihr Streichen und Fallen bestimmt. Das Fallen einer Schicht ist ihr stärkster Neigungswinkel, die Streichungsrichtung ist die zur Fallrichtung senkrechte. Streichungs- und Fallrichtung werden durch den Winkel angegeben, den sie mit dem Meridiane machen; der Fallwinkel ist der Winkel, welchen sie mit der Horizontalebene bilden. Fällt ein Gestein unter  $45^{\circ}$  nach N  $90^{\circ}$  O, so bildet seine Fallrichtung mit der Nord-südlinie einen Winkel von  $90^{\circ}$  nach Ost, es fällt also nach Ost und bildet mit der Horizontalebene einen Winkel von  $45^{\circ}$ . Es streicht dann von Nord nach Süd. Die Streichungsrichtung wurde früher in Stunden (h) zu  $15^{\circ}$  gemessen.

Die Schichtung deutet eine successive Ablagerung des Gesteins an, und der Regel nach erfolgt dieselbe derart, dass die einzelnen Schichten horizontal, sei es unter Wasserbedeckung, sei es auf festem Lande,



abgelagert wurden; nur in seltenen Fällen ist eine ursprünglich geneigte Ablagerung denkbar (Schutthalden, Deltas), und überhaupt ausgeschlossen ist die Möglichkeit, dass die Schichten in einer Neigung von über  $35^{\circ}$  abgelagert wurden. Die meisten Schichtgesteine der Erde finden sich jedoch in geneigter Stellung, sie haben nach ihrer Ablagerung Schichtenstörungen erfahren. Dieselben bestehen zumeist darin, dass die Gesteine zusammengeschoben, gefaltet wurden. Sie bilden nunmehr keine horizontalen Lager mehr, sondern Falten. An einer solchen Falte lassen sich mehrere Glieder unterscheiden. Sie setzt sich zusammen (Fig. 14) aus einem Gewölbe oder Sattel, auch Anticlinale genannt ( $ABC$ ), und aus einer Mulde ( $CDE$ ). Synclinale, Sattel und Mulde haben ihre Flügel ( $AB$ ,  $BC$  Sattelflügel,  $CD$ ,  $DE$  Muldenflügel); an der aus Mulde und Sattel zusammengesetzten Falte werden unterschieden Gewölbeschenkel  $AB$ , Mittelschenkel  $BD$ , Muldenschenkel  $DE$ . In Gebirgen sind häufig viele Falten dicht an einander gelagert, und zwar derart, dass die Schichtenstellung eine fächerförmige zu sein scheint. Weit ausgedehnte Mulden heissen Becken.

Fig. 14.

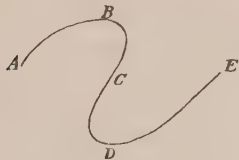
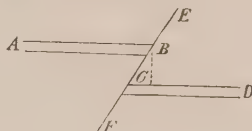


Fig. 15.



Einen besonderen Fall der Schichtenstörungen oder Dislocationen stellen die Verwerfungen dar. Eine einzelne Schicht ist nämlich in ihren einzelnen Partien verschieden stark dislocirt worden, und zwar derart, dass ihr ursprünglicher Zusammenhang, welcher bei der Faltenbildung bewahrt wurde, gestört worden ist. Sie ist zerrissen und ihre einzelnen Abtheilungen sind gegen einander verschoben ( $AB$  und  $CD$ , Fig. 15). Die Spalte, längs welcher sie verworfen sind ( $EF$ ), nennt man Verwerfungsspalte oder Verwerfer, die Höhe  $BC$ , um welche sie verschoben wurden ( $BC$ ), Sprunghöhe der Verwerfung. Den Verwerfungsspalten kommt nicht nur erhöhtes geologisches Interesse durch die häufig wahrnehmbare, nachträgliche Ausfüllung durch Erze u. s. w. oder Massengesteine zu, sondern auch deswegen, weil sie häufig die Wege darstellen, auf welchen warme Quellen dem Erdinnern entsteigen. Die meisten Thermen liegen auf Verwerfungsspalten, und haben daher häufig in benachbarten Gebieten eine lineare Anordnung. So folgen die böhmischen Thermen einer Dislocationslinie am Abfalle des Erzgebirges, die Bäder Niederösterreichs und Steiermarks liegen auf einer Verwerfungslinie am Ostabfalle der Alpen.

Gesteine, welche sehr stark zusammengeschoben sind, verlieren bisweilen ihre Schichtung und statt derselben stellt sich eine Absonderung ein, welche man Schieferung (Clivage) nennt. Es wird das Gestein dann von zahlreichen parallelen Klüften durchsetzt, welche es in einzelne schichtähnliche Platten zerlegen. Dieselben durchsetzen unter beliebigem Winkel die ursprüngliche Schichtung, welche sich dann nur noch durch den mit ihr verbundenen Wechsel im Gesteinscharakter zu verrathen pflegt.

Die massigen Gesteine stellen keineswegs völlig homogene Gebilde dar, auch sie besitzen ein gewisses Gefüge, eine besondere Absonderung. Häufig sind sie plattenförmig abgesondert, d. h. in einzelne mehr oder minder mächtige Platten zerlegt (Phonolith), oder sie bestehen aus einzelnen Säulen und sind säulenförmig abgesondert (Basalt). Andere Massengesteine sondern sich in mächtige Bänke, sie sind bankförmig abgesondert (Granit). Gewisse structurelle oder substantielle Modificationen innerhalb eines Massengesteins nennt man Schlieren.

Ist den Sedimentgesteinen die concordante oder discordante Ueberlagerung eigenthümlich, so kommt den Massengesteinen die durchgreifende Lagerung specifisch zu, d. h. in irgend welcher Partie ihres Auftretens setzen sie durch fremde Schichten quer hindurch, indem sie entweder schmale Gänge oder mächtige Stöcke und Massive bilden. Dieselben stellen die Wege dar, auf welchen sie einst dem Erdinnern entquollen. Hier und da sieht man aber Massengesteine regelmässig mit Sedimentgesteinen wechseln. Diese Partien der Massengesteine nennt man Decken, es sind dies alte Lavaströme, vor und nach deren Erguss eine Sedimentation an der betreffenden Stelle erfolgte. Eine charakteristische Form des Auftretens von Massengesteinen ist die Bergkuppe<sup>1)</sup>.

1) Um den Aufbau der Erdoberfläche aus verschiedenen Gesteinen, sowie deren Lagerungsverhältnisse darzustellen, bedient sich die Geologie zweier Wege. Einmal stellt sie die oberflächliche Verbreitung der Gesteine auf Karten dar, dann aber lehrt sie deren Aufeinanderfolge durch Profile kennen. Profile sind ideale Durchschnitte eines Theiles der Erdoberfläche, in welchen die einzelnen Gesteine in ihren nachgewiesenen oder muthmaasslichen Lagerungsverhältnissen dargestellt sind. Beide, Karten und Profile vereint, geben erst ein Bild von dem geologischen Bau eines Landes und somit auch die sichere Grundlage für irgend welche Bodenkunde. Nur möge man nie vergessen, dass die geologischen Karten mehr denn bloss Gesteinskarten sind, und vor Allem das Wissen über die geologischen Verhältnisse eines Gebietes darstellen sollen. Geologische Karten sind daher weit davon entfernt, eine Darstellung der agronomisch oder hygienisch wichtigen Daten über die Bodenverhältnisse eines Landes zu geben. Dies gilt besonders von den geologischen Uebersichtskarten, auf welchen der Regel nach nur die einzelnen geologischen Systeme nebst ihren Unterabtheilungen wiedergegeben sind, ohne Rücksicht auf deren petrographische Zusammensetzung und Ausbildung, und welche den Oberflächenbildungen nur geringe Aufmerksamkeit schenken. So unbestreitbarer Werth solchen Karten hinsichtlich geologischer Studien zukommt, so gering ist ihre Bedeutung für die Bodenkunde, auf welcher das hygienische Interesse fusst. Beträchtlicher Werth jedoch kommt für diese Ziele den geologischen Specialkarten zu, wie solche neuerdings von den meisten civilisirten Ländern in sehr grossem Maassstabe aufgenommen werden. Solche Karten geben nicht bloss geologische Complexe wieder, sondern auch die einzelnen Gesteine, und zeigen selbst deren Nuancirung an; die neuen geologischen Specialkarten von Preussen und Sachsen berücksichtigen auch die Oberflächenformationen in eingehender Weise, ja verzeichnen selbst gerutschte und verschwenmte Ablagerungen. Allein man möge sich auch von diesen Karten in bodenkundlicher Beziehung nicht zu viel versprechen. Es möge einerseits im Auge behalten werden, dass selbst die feinst unterschiedenen Gesteinsarten Variationen

## ZWEITES CAPITEL.

**Vertheilung des Wassers im Boden.**

Das Wasser im Boden spielt schon vermöge der ausserordentlichen Massenhaftigkeit, in welcher es auftritt, eine wesentliche Rolle.

DELESSE <sup>1)</sup> hat den Versuch angestellt, diese Quantitäten zu berechnen, indem er all das unterirdische Wasser, welches die Felsen, Gesteine imbibirt, indem es durch Spalten, mikroskopische Hohlräume und Poren eindringt, berücksichtigt. Nach seiner Auffassung muss sich das unter-

in ihrer Zusammensetzung fähig sind, dass ein und dasselbe Granitmassiv, ein und dieselbe Porphydecke sowohl ihre physikalische Beschaffenheit, als auch ihre chemische Mischung ändert. So begegnet man häufig stark zerklüftetem Porphyr neben sehr compactem, ein und derselbe Granit ist bald kalireich, bald kaliarm. Besonders aber sind selbst die genauesten geologischen Karten nicht im Stande, jenen stellenweise fast verwirrenden Wechsel in der Beschaffenheit der Schichtgesteine mit absoluter Genauigkeit wiederzugeben. Es sei hier vor Allem auf das Auftreten und Wiederverschwinden von undurchlässigen Schichten in durchlässigen Complexen hingewiesen. So sieht man in den Sandlagern des südbaierischen Tertiärs häufig Mergelschichten, welche local als Quellensammler auftreten, und welche einzeln zu verfolgen unmöglich ist. Ferner können selbst geologische Spezialkarten nicht den verschiedenen Grad der Verwitterung wiedergeben, welchen ein und dasselbe Gestein in den verschiedenen Punkten seines Auftretens zeigt. Bei alledem möge jedoch im Auge behalten werden, dass eine vernünftige Betrachtung geologischer Spezialkarten, welche obige Punkte berücksichtigen, schätzenswerthe Winke hinsichtlich der Bodenbildung gewährt. Es gilt die Karten richtig zu lesen, und zu dem Ende ist zunächst unbedingt erforderlich, den Terrainverhältnissen eingehende Beachtung zu widmen. Man kann dann gewöhnlich die Schichtenfolge unmittelbar aus der Karte entnehmen. Sehr bedauerlich ist daher, dass einige geologische Kartenwerke, wie die geologische Spezialkarte von Baiern (1 : 100 000) und die von Schweden (1 : 50 000), keine Terraindarstellung gewähren. Es drückt sich in der räumlichen Lage eines Gesteins, sei es als isolirter Gipfel, sei es als Thalgehänge, häufig schon der Zustand seiner Beschaffenheit aus, sowie sein Verhältniss zu der unterirdischen Wassercirculation. Weiter geben die Begleitworte zu den Karten gewöhnlich Aufschluss über locale Verhältnisse, und die den sächsischen Spezialkarten beigefügten Profile tragen in ganz besonderem Maasse zur Erhöhung des Verständnisses bei. So kann denn gesagt werden, dass, wenngleich die geologischen Spezialkarten auch nicht unmittelbar ein Bild der Bodenbeschaffenheit eines Distriktes geben, wie für gewisse hygienische Fragen nöthig ist, sie doch mittelbar die wichtigsten Anhaltspunkte zu einer genauen Bodenkenntniss gewähren. Alles dies gilt jedoch nur von solchen Karten, deren Maassstab 1 : 25 000 (Preussen, Thüringen, Sachsen; England z. Th.) bis höchstens 1 : 50 000 ist (Baden, Württemberg, Schweden). Karten im Maassstabe von 1 : 100 000 haben schon eine geringere Verwerthbarkeit.

1) DELESSE, Recherches sur l'eau dans l'intérieur de la terre. Bulletin de la Société géologique de France. 1861/62.



irdische Wasser in der ganzen Schicht der Erdrinde finden, deren Temperatur unter  $100^{\circ}$  C. ist und, eine Temperaturerhöhung des Erdinnern von  $1^{\circ}$  für 33 Meter Tiefe vorausgesetzt, bis zu 3300 Meter Tiefe. Da aber die Dampfbildung vom Drucke abhängt und dieser ebenfalls mit der Tiefe zunimmt, so kann man berechnen, dass ungefähr bis zu 18500 Meter Tiefe und bis zu einer Temperatur von ungefähr  $600^{\circ}$  flüssiges Wasser vorhanden sein wird. Da nun die die Oberfläche zusammensetzenden Gesteine geschichtet und im Allgemeinen recht porös oder mindestens thonhaltig sind, alles Eigenschaften, die eine Imbibition mit Wasser ermöglichen, so lässt sich annehmen, dass das unterirdische Wasser einen bedeutenden Theil unserer Erdkugel ausmacht. Bei der Annahme, dass die Erdrinde auf eine Dicke vom 1,850 Myr. von Wasser durchsetzt sei, dass ihre Dichte 2,5 betrage und das Imbibitionswasser 5 %, dass ferner die Erde eine Kugel sei von Radius 636 987 Myr., betrüge das Volumen des unterirdischen Wassers  $\frac{4}{3} 3,14 (636\,987^3 - 635\,137^3 \text{ Myr.}) 2,50 \times 0,05 = 1\,175\,089$  Cubikmyriameter, ungefähr  $\frac{1}{921}$  des Rauminhalts der Erdkugel. Nach ELIE DE BEAUMONT beträgt das oberflächliche Wasser der Erdkugel 1 309 000 Cubikmyriameter oder  $\frac{1}{827}$  der Erdkugel; es wäre also das Imbibitionswasser der Menge nach ungefähr gleich dem Oberflächenwasser; DELESSE nimmt an, dass die für das unterirdische Wasser gefundenen Zahlen jedenfalls viel zu gering gegriffen sind, doch ist vielleicht das Umgekehrte der Fall, indem es fraglich ist, ob die Annahme von 5 % Imbibitionswasser nicht eine zu hohe Summe repräsentire; ausserdem muss auch in Betracht gezogen werden, dass von der Dicke der mit Wasser erfüllten Erdrinde die Zahl für die mittlere Meerestiefe abgezogen werden müsste. Aber selbst eine namhafte Reduction lässt uns doch diese Mengen als ausserordentlich gross erscheinen.

Das Wasser, das von der Oberfläche her in den Boden einsickert, kann in demselben in verschiedenen Formen auftreten. Bald findet es sich nur fein vertheilt in geringer Menge, in den Poren der Gesteine, selbst der dichtesten, als Bergfeuchtigkeit oder Bergschweiss; oder aber das Wasser, soweit es sich um einen Boden handelt, wie er als Alluvial- und Diluvialboden einen grossen Theil unserer Oberfläche bedeckt, dringt in grosser Menge in den Boden ein und fliesst, den Gesetzen der Schwere und der capillaren Leitung folgend, in grössere Tiefen ab, so lange es im Ueberschuss sich befindet über jene Wassermengen, die zur Sättigung der capillaren Wassercapacität genügen und die zum Ersatz des aus dem Boden wieder verdunstenden Wassers nöthig sind. Ist die poröse Bodenschichte eine sehr mächtige und die Verdunstung ebenfalls eine grosse, so wird sich ein Zustand capillarer Sättigung in wechselnder Tiefe ausbilden, der Boden wird „feucht“ erscheinen; es kommt aber zu keiner grösseren, zusammenhängenden Wasseranhäufung; in einem solchen Boden können unter gewöhnlichen Verhältnissen keine Brunnen erbohrt werden.



Aehnliche Erscheinungen treten dann bei Bodenformationen auf, die an sich in ihren Bruchstücken nicht oder nicht leicht durchlässig sind für Wasser, die aber durch ihre splittrige und rissige Beschaffenheit, die im Laufe der Zeit durch Auslaugung noch erhöht werden kann, den Abfluss des Wassers ausserordentlich befördern und so eine grosse Trockenheit des Bodens bedingen. Solche Beispiele liefert die aus ganz flach geschichteten, festen Kalksteinen aufgebaute Hochfläche der schwäbischen Alp und viele andere Kalk- oder Dolomitgebiete, wie die des Karst, der Normandie, eines Theiles des französischen Jura.

Ein anderes Bild wird jedoch geboten, wenn sich unterhalb eines solchen porösen Bodens, in nicht allzu grosser Tiefe eine Bodenschicht ausbreitet, die für Wasser undurchgängig ist. In diesem Falle ist dem in den Boden einsinkenden überschüssigen Wasser ein Halt geboten an dieser impermeablen Unterlage, auf welcher es sich nun ansammeln und bei zunehmender Menge in dem porösen Boden zu einer grösseren Höhe aufsteigen muss, wenn nicht die Neigung der undurchlässigen Schichten dafür sorgt, dass dieses unterirdische Wasser nach tiefer gelegenen Stellen hin abfließt. Diese Wasserausammlung nun, die als Unterlage eine undurchlässige Bodenschicht besitzt und vollständig alle Bodenporen, nicht blos die capillaren, ausfüllt, nennt man Grundwasser, Horizontalwasser. Es bleibt entweder in seiner ganzen Ausdehnung von den obersten Bodenschichten bedeckt, bis es sich endlich in einen Wasserlauf, den tiefsten Einschnitt des jeweiligen Drainagegebiets, ergiesst, oder aber die untere undurchlässige, dem Grundwasser als Grundlage dienende Schicht tritt zu Tage, z. B. in einem Einschnitt an einem Abhange, und das Grundwasser kommt in Folge dessen in Form einer Quelle zum Vorschein. Hiermit wird dem Wesen und der Entstehungsweise nach die Identität für Quell- und Grundwasser beansprucht; der Unterschied liegt nur in dem Zutagetreten. Es hat diese Anschauung schon DAUBRÉE <sup>1)</sup> vertreten. Er betont, dass an vielen Orten unmittelbar unter der Dammerde sich oberflächliche, lockere Ablagerungen, alluviale Bildungen oder wenig zusammenhängende Trümmer von Felsen von derselben Natur, wie der Untergrund, finden, in welche der Regen nach erfolgter Infiltration der Ackerkrume eindringt, ohne bei der mangelnden oder nur geringen Durchlässigkeit des Untergrundes tiefer herabzusinken. Dieses Wasser könne man nun in Form

1) DAUBRÉE, Sur l'existence et l'origine d'eaux souterraines, qui se meuvent souvent à une faible profondeur. Comptes rendus. 1849. T. XXVIII. p. 444.

von Quellen austreten lassen, indem man senkrecht auf die unterirdische Strömungsrichtung einen queren Graben führt, der das Wasser meist schon in einer Tiefe von 4—5 Metern sammelt.

DARCY <sup>1)</sup> schildert dieses Zustandekommen der Quellen aus dem Grundwasser folgendermaassen: Streicht die undurchlässige Schicht in einer bemerkbaren Tiefe unter dem Thal und auch im Thalgrunde, von der durchlässigen bedeckt, so bildet sich dort eine Art mit Wasser gefüllten Behälters, dessen Niveau mit der Jahreszeit sinkt und steigt. Die Entleerung dieses Behälters, der einer oder mehreren Quellen zum Ursprunge dient, erfolgt im Allgemeinen am tiefsten Punkte, im Thalgrunde, und gleichwohl können neue, allerdings weniger starke und weniger constante Quellen an den Flanken der Abhänge entstehen, wenn reichliche Niederschläge das Niveau des unterirdischen Wasserbehälters erheben.

### I. Quellen.

Entsprechend der einheitlichen Auffassung von Quellen und Grundwasser sei bezüglich der Entstehung der Quellen, ihres Zusammenhanges mit den Niederschlägen auf die Erörterungen beim Grundwasser verwiesen und hier nur die Erscheinungsweise, das Zutagetreten derselben behandelt <sup>2)</sup>.

Wir unterscheiden nach RICHTHOFEN

a) wahre Grundwasserquellen, wo eine wasserundurchlassende, unter lockeren Aufschüttungsmassen ruhende Schicht gegen ihre Einfallrichtung von einem Gehänge, einem Thalrand oder einem Einschnitt irgend welcher Art durchschnitten wird,

b) Oberschichtquellen, wo an Stelle des permeablen Bodens zerklüftetes Gestein getreten ist und sich dann das Wasser in wenigen Kanälen sammelt und in Gestalt einzelner starker Quellen zum Vorschein kommt (Kalkalpen),

c) Tiefenschichtquellen, als welche alle Quellen bezeichnet werden können, welche dem unter der obersten undurchlassenden Schichte circulirenden Wasser ihre Entstehung verdanken, und so Verhältnissen entsprechen, welche die Anlage artesischer Brunnen voraussetzt. Das Wasser, das sich hier unter der impermeablen Decke unter einem

1) DARCY, Les fontaines publiques de Dijon. 1856.

2) Vgl. RICHTHOFEN, Führer für Forschungsreisende. Berlin 1886. S. 122—128. — A. HEIM, Die Quellen. Basel 1885. — W. TOPLEY, Water supply in its influence on the distribution of the population. International Health exhibition. London 1884. Conference on 24. Juli 1884.

hydrostatischen Druck befindet, wird dort, wo die wasserführende Schicht zu Tage tritt, in Form mächtiger Quellen aufsteigen.

In Gebirgen, wo die Erdschichten nicht normal, sondern schief oder senkrecht aufgestellt, gefaltet, selbst gebrochen sind und jeder grössere Schichtencomplex durchlassende und undurchlassende Schichten enthält, weist die Schichtrichtung dem Wasser den Weg.

Fig. 16.

Fig. 17.

Fig. 18.

Fig. 19.



Ein Thal mit isoklinen Schichten (Fig. 16) wird eine quellenreiche (a) und eine quellenarme (b) Seite haben. Ein in antiklinen Schichten (Fig. 17) eingesenktes Thal ist quellenarm. In einem Thal mit synkliner Schichtenstellung (Fig. 18) können beide Gehänge quellenreich sein, wenn die Neigung der Schichten geringer ist als diejenige der Gehänge (Fig. 18), quellenarm, wenn sie die letztere übertrifft (Fig. 19). (RICHTHOFEN.)

## II. Grundwasser.

Dasjenige Wasser, welches in einem durchlässigen Boden nach abwärts fliesst, und dort, auf einer undurchlässigen Unterlage sich ansammelnd, sämtliche Hohlräume des Bodens erfüllt, nennen wir Grundwasser.

PETTENKOEFER <sup>1)</sup> versteht unter Grundwasser „jene unterirdische, im porösen Erdreiche befindliche, bald mehr, bald weniger hohe Wasserschicht, welche uns durch das Graben von Brunnen zugänglich gemacht wird. Die Grundwässer unserer Bodenflächen können als unterirdische Teiche und Flüsse betrachtet werden, welche mit Alluvionen ausgefüllt und bald mehr, bald minder hoch überschüttet sind, so dass wir über und auf dem Spiegel derselben wohnen und die Erde bebauen. Wenn wir einen Brunnen anlegen, so graben wir eine Oeffnung durch die Bedeckung dieses unterirdischen Wassers, heben, am Wasserspiegel angelangt, noch einige Fuss tiefer das Material aus, womit das Becken ausgeschüttet ist, in welcher Höhlung sich dann jenes Wasser sammelt, welches wir mit Pumpen oder Schöpfeimern an die Oberfläche fördern“.

1) Hauptbericht über die Choleraepidemie des Jahres 1854 im Königreich Bayern. München 1857.

PETTENKOFER hat dem Grundwasser insofern eine grosse hygienische Bedeutung vindicirt, als er dasselbe als Maassstab für die Durchfeuchtung der oberhalb desselben befindlichen Bodenschichten aufgestellt hat, als er in den Schwankungen des Grundwassers den Ausdruck fand für die Schwankungen dieser Bodenfeuchtigkeit, und zwar einen viel zuverlässigeren, als ihn die Elemente der Luftfeuchtigkeit direct zum Ausdruck bringen (vergl. S. 314 ff.).

### *1. Horizontale Ausbreitung des Grundwassers.*

Das im Boden niedersinkende Wasser wird auf der undurchlässigen Schicht eine horizontale Ausbreitung finden. Dieselbe ist von dem Niveau, der Configuration, dem Relief dieser Schicht abhängig, welche Verhältnisse vielfach ganz andere sind als die der Bodenoberfläche, wenn auch beide in ihren allgemeinen Beziehungen, mit Rücksicht auf ihre Abdachungen, auf die Thalbildung mit einander in Uebereinstimmung sich befinden können.

Wir geben als Beispiel eine Darstellung dieser Verhältnisse in München, wo der schon auf S. 243 erwähnte einfache geologische Bau die Auffassung ausserordentlich erleichtert.

München<sup>1)</sup> (Fig. 20) liegt auf einer breiten Hochfläche von dreiseitiger Gestalt, welche sich im Süden zwischen die Gebiete des alten Inn- und Isargletschers drängt und sich nach Norden zwischen Freising und Landshut in dem Isarthale fortsetzt. Im Gegensatz zu der nördlich liegenden Tertiärhügellandschaft und den im Süden entwickelten Moränenbezirken ist das Niveau dieser Hochfläche ein ungemein gleichförmiges, dieselbe zeigt keinerlei Unregelmässigkeiten der Bodengestaltung, sondern dacht sich gleichförmig von Süd nach Nord ab. Dieselbe wird der Länge nach von der Isar durchströmt. Dieser Fluss schneidet in den südlichen Theil der Hochfläche 50—70 Meter tief in einem engen Thale ein; in dem Maasse jedoch, als man nordwärts geht, nimmt die Tiefe dieses Thales ab. Bei Grosshesselohe, etwa 10 Km. südlich München, entwickeln sich an den Gehängen des Isarthales breite Terrassen, welche nach Norden zu allmählich in einander verfließen und schliesslich mit der Hochfläche und der Thalsohle in eine Fläche verschmelzen. Etwa 10 Km. unterhalb München ist kein Isarthal mehr wahrnehmbar. Der Fluss fliesst auf der Hochfläche. Die Stadt München nun liegt grösstentheils auf einer Terrasse des Isarthales (Fig. 20 B), welche bei Grosshesselohe ihren Ursprung nimmt, frühzeitig schon hat sich die Stadt jedoch auch über den Isarthalboden selbst (C) ausgebreitet und in neuerer Zeit auf die Hochfläche (D und A) erstreckt.

---

1) Vergl. SOYKA, Untersuchungen zur Canalisation. Die Mortalitätsverhältnisse Münchens. München 1885.



An dem Profil (Fig. 20), einem von West nach Ost gezogenen Durchschnitt, sehen wir, wie die Hochfläche *AA* einen tieferen, der Isar entsprechenden und an dieselbe sich anschliessenden Einschnitt *C* erlitten, der von Nord nach Süd verläuft, das sog. Isarthal, welches auf der einen, östlichen Seite direct zur Hochfläche (ca. 20 Meter hoch) ansteigt, auf der anderen, westlichen Seite jedoch vermittels einer Abstufung Terrasse *B*, die Höhe erklimmt. Weiter gegen Osten erblicken wir schliesslich eine Anschwellung *D*, eine wahre Auflagerung. Der Abfall der Hochfläche gegen die Isar auf der östlichen Seite beträgt ca. 20 Meter. Der Abfall der Hochfläche (westlich) zur Terrasse beträgt 10—5 Meter, gegen Norden zu abnehmend; von der Terrasse gegen den Thalboden ungefähr ebensoviel.

Im Einklange mit dem Mangel orographischer Gliederung zeigt die grosse Münchener Hochfläche einen sehr einfachen geologischen Bau. Mögen auch in der Tiefe noch eine Reihe älterer Gesteine ruhen, so ist der Flinz (1 in Fig. 20) die nachweisliche Unterlage der Hochfläche. Er tritt im Bereiche derselben nur da zu Tage, wo Thäler tief einschneiden, und ist ein treuer Begleiter der Isar, aus deren Bette und Ufer er bei niedrigem Wasserstande an mehreren Punkten ansteht. Ueber dem Flinz, einem grauen, sandigen oder glimmerreichen, in tieferen Lagen mergeligen, zum Obermiocän gehörigen Thon von mehreren 100 Metern Mächtigkeit, lagert ein alpiner Diluvialkies (Deckenschotter, 2 in

Fig. 20.

Querprofil durch München von der Theresienhöhe nach dem Ostbahnhofe.

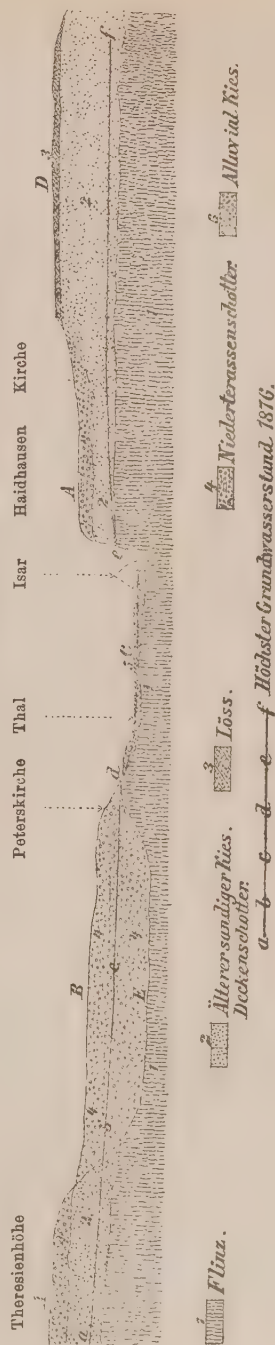


Fig. 20), welcher häufig zu einer Nagelfluh verkittet, bei München aber lose ist und sich durch eine namhafte Beimengung von Sand auszeichnet. Dieser sandige Kies wird nun stellenweise überdeckt entweder von Löss, einem hier local kalkfreien oder auch sandigen, an organischen Bestandtheilen reichen, lockeren Lehm, welcher dann gewöhnlich flache Bodenauflagerungen bildend hervorragt (3 in Fig. 20 bei *D*), oder aber von einem im Mittel 6—8 Meter mächtigen, sehr groben alpinen Kies (Niederterrassenschotter, 4 in Fig. 20), welcher meist ziemlich arm an sandigen Partikeln ist und sich gegenüber dem unter ihm auftretenden Kies durch sein lockeres Gefüge auszeichnet.

Wo an dem nördlichen Zipfel der Hochfläche die Flüsse in dieselbe nicht oder nicht tief genug einschneiden und deswegen, d. h. in Folge mangelnder Drainage, das Gebiet fortwährend durchfeuchten, werden die erwähnten Gebilde noch durch mächtige Moorbildungen verhüllt. Wo hingegen im Süden die Hochfläche von Thälern ziemlich tief durchfurcht wird, sind die erwähnten Ablagerungen an den Thalgehängen bis zum Flinz herab blossgelegt und werden wie auf der Höhe der Terrassen, so am Thalboden, durch die jüngeren Anschwemmungen des Terrassen- und Alluvialschotters überlagert.

Da alle jene Gebilde besonderen Zeitabschnitten in der Bildung der Gegend entsprechen und keine continuirliche Ablagerung darstellen, so ist einleuchtend, dass sie nicht völlig regelmässig über einander geschichtet sind. Diese gegenseitigen Grenzen verlaufen unregelmässig und können nur durch sorgfältige Untersuchungen genauer fixirt werden.

So interessant nun aber auch in geologischer Beziehung diese Grenzen sein mögen, so hat doch in hygienischer Hinsicht nur eine derselben Bedeutung. Es ist die Grenze des Flinzes gegen die jüngeren Schichten, da ihm die Rolle der für Wasser undurchlässigen Schicht zukommt. Seine Grenze ist von wesentlichstem Einfluss auf den Grundwasserstand.

Das vorliegende Profil Fig. 20 zeigt nun, dass der Flinz unterhalb Münchens, abgesehen von dem durch die Isar bewirkten Einschnitt, unterhalb der Terrasse und westlich vom Isarthal selbst ein Thal oder mindestens eine Mulde *E* bildet (eine analoge, minder tiefe Mulde befindet sich unterhalb Wiens, innere Stadt, vergl. Cap. III), die durch einen unterirdischen, von Südost nach Nordwest aufsteigenden Flinzhügel von der dem Isarthal entsprechenden Depression des Flinzes getrennt ist. Leider ist die Zahl der ausgeführten Bohrungen nicht gross genug, um entscheiden zu lassen, ob dieses Verhältniss sich über grössere subterrane Strecken ausdehnt, doch ist zu vermuthen, dass in diesem, dem Isarthal parallelen Flinzthal bereits vor Ablagerung des älteren sandigen Schotters ein Wasserlauf existirt hat.

Die Resultate von 64 Bohrungen zeigen aber ferner, dass das Relief des Wasserbodens im Detail fast ausser aller Beziehung steht mit der jetzigen Oberflächengestaltung. Die im Allgemeinen mit der

Oberflächenabdachung übereinstimmende sehr flache und sanfte Abdachung des Flinzes von Süd nach Nord, resp. SSW nach NNO, zeigt besonders im Westen ausserordentlich zahlreiche, rückenartige Erhöhungen, Mulden, teichartige Eintiefungen und inselartige Erhebungen, hervorgerufen durch ältere Strömungen der Diluvialzeit, die den Tertiärboden ausgenagt und ihm diese unregelmässige Form aufgedrückt haben. Hierdurch muss das Niveau, die horizontale Ausbreitung, aber auch die Richtung und Geschwindigkeit des Grundwasserstromes im Allgemeinen und örtlich wesentlich beeinflusst werden. Die Abdachung des Wasserbodens im Stadtgebiete beträgt auch nur 10—11 Meter gegen 15 Meter des Oberflächenabfalls.

Ein recht charakteristisches Beispiel derartiger localer Verschiedenheiten zwischen dem Relief der undurchlässigen Schicht und dem Oberflächenrelief in seinem Einfluss auf das Grundwasser bietet uns folgendes Bild (Fig. 21), das in einem in der Richtung Nordwest-Südost aufgenommenen Profil die Höhenlage der wasserundurchlassenden tertiären Schicht und des Grundwasserstandes darstellt. Der Zusammenhang, der in dem Abfall, in der Abflachung zwischen undurchlässiger Tertiärschicht und der oberflächlichen Kiesschicht besteht, findet zwar auch hier seinen Ausdruck, die Abdachung erfolgt hier gegen das Isarbett, aber nicht gleichmässig. Im Nordwesten fällt die Tertiärschicht steiler ab, im Südost jedoch steigt sie im Gegensatz zur Oberfläche sogar etwas an.

Noch wesentlichere Verschiedenheiten bieten die Details. Insbesondere macht sich eine mächtige hügelartige Erhebung des Flinzes geltend, die sich auf drei Seiten in Form eines abgestumpften Kegels zeigt, aber an der Oberfläche durch keinerlei Zeichen sich verräth, trotzdem sie eine Höhe von ca. 10 Metern erreicht. Sie ist eine der höchsten Erhebungen eines weiteren Flinzrückens, der nach Norden mit einer Abdachung von nur ungefähr 4 Metern, nach Osten noch schwächer abfällt.

Dieser Höhenzug bedingt eine deutliche Verzögerung im Verlauf des Grundwassers, und bei etwas tieferem Stande des Grundwassers zeigt das auf der Höhe des Kegels niedergebrachte Bohrloch kein Wasser; dieses bespült nur in ergiebiger Weise seinen Mantelsaum <sup>1)</sup>.

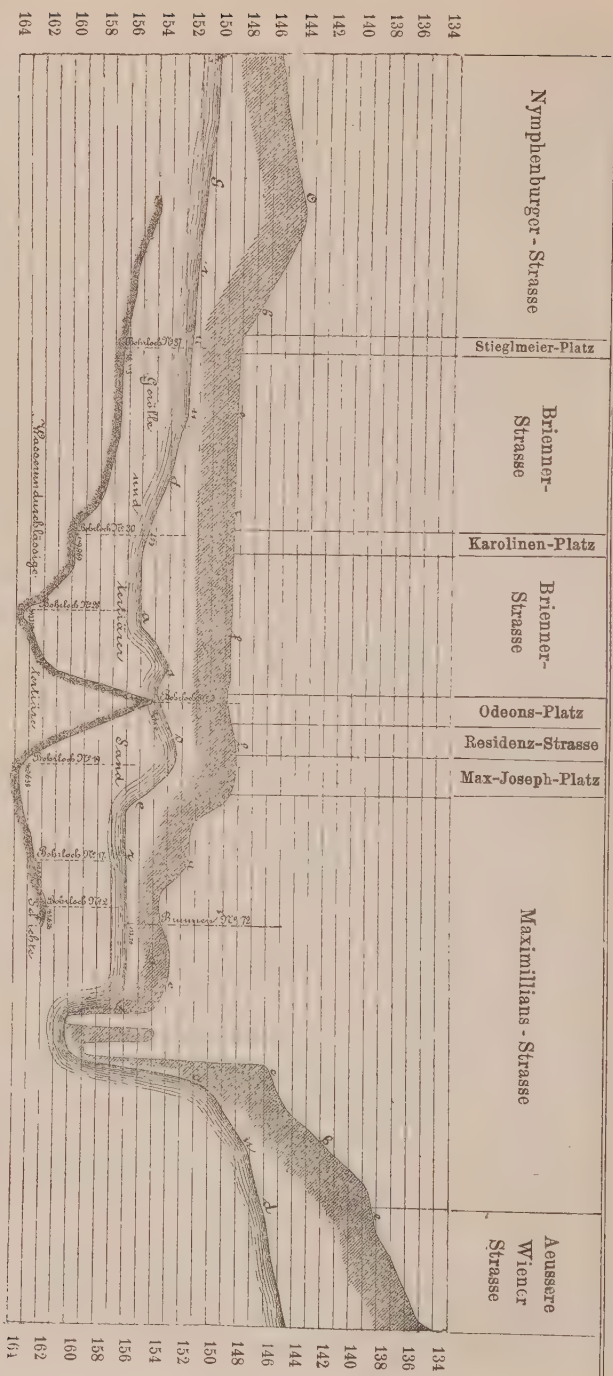
In Folge solcher Bodengestaltungen müssen unmittelbar benachbarte Stellen ein ganz verschiedenes Verhalten des Grundwassers

---

1) GÜMBEL und NIEDERMAYER, Die Bewegungen des Grundwassers unter dem Boden der Stadt München, in den Berichten über die Verhandlungen und Arbeiten der vom Stadtmagistrat in München niedergesetzten Commission für Wasserversorgung, Canalisation und Abfuhr.

Fig. 21.

Profil über die Höhenlage der wasserundurchlassenden tertiären Schicht und den Grundwasserstand  
Mitte August 1875. Richtung Nordwest-Südost.



Maass der Längen 1:31200, der Höhen 1:534. Die Coten beziehen sich auf den Münchener Stadthorizont.



zeigen, unmittelbar auf der Spitze des Hügels eine sehr geringe Schicht von Grundwasser in der Höhe von ca. 0,4 Meter, die wohl bei irgend welchen erheblicheren Schwankungen nach abwärts vollständig verschwinden kann und unmittelbar daneben, ca. 250 Meter entfernt, einen sehr mächtigen, mit Grundwasser erfüllten Kessel, in dem dasselbe eine Höhe von über 10,5 Metern erreicht. Aber auch die Oberfläche, das Niveau des Grundwassers, zeigt eine durch die Stauung bedingte Erhebung, die sich bis zu 3,5 Meter über das benachbarte Niveau erhebt. Die Folge davon ist, dass auf einer Strecke von ca. 650 Metern der Grundwasserstand in seiner Entfernung von der Oberfläche um 2,2 Meter schwankt (Bohrloch 28 — 6,4 Meter, Bohrloch 3 — 4,7 Meter, Bohrloch 19 — 4,2 Meter), während die Niveaudifferenzen der Oberfläche hier kaum 0,5 Meter betragen. Ausserdem müssen in derartigen künstlichen unterirdischen Kesseln Stagnationen, Veränderungen der Strömungsrichtung eintreten, deren Beschaffenheit, aber auch Bedeutung freilich noch nicht genügend erkannt ist.

Aehnliche Verhältnisse sind auch bezüglich des wasserdichten Untergrundes, des Tegels in Wien, der wasserdichten Lehm- und Thonablagerungen Berlins und wohl noch an vielen anderen Orten nachgewiesen worden.

Um diese Verhältnisse kennen zu lernen, müssen zahlreiche Bohrversuche durch die oberflächlichen porösen Schichten bis zur ersten undurchlässigen Schicht, dem Untergrunde, angestellt werden, und je grösser die Zahl dieser ist, desto vollständiger wird das Bild, das man auf diese Weise vom Untergrunde erhält. Um nun zugleich auch das Verhältniss der wasserdichten Unterlage zum Stande des unterirdischen Wassers nach seinen localen Schwankungen und dem Grade der Abhängigkeit dieses Standes von dem Relief des Untergrundes richtig zu bemessen, muss gleichfalls und auf längere Zeitdauer das Niveau des so zugänglich gewordenen Grundwassers beobachtet werden.

Indem man auf einer die Oberfläche darstellenden Karte die Punkte gleicher Höhe durch Curven verbindet, erhält man neben einander ein dreifaches System von Curven, welches Einem sofort an jeder Stelle der Karte Aufklärung gibt über das Niveau der Oberfläche des Grundwassers und der undurchlässigen Schicht. Wenn wir die Curven, die das Niveau der oberflächlichen Bodenschichten darstellen, Isohypsen nennen, so sind dagegen die Curven, welche die Reliefkarte des unterirdischen wasserdichten Untergrundes, des Wasserbodens, construiren helfen, als Katanhydroisohypsen, und endlich jene Curven, welche den gleichzeitig gleichen Grundwasserstand verbinden, als Hypohydrohypsen zu bezeichnen. Es ist

auf Grund dieser Curven leicht an jeder einzelnen Stelle der Abstand des Grundwasserspiegels, sowie des Wasserbodens von der Oberfläche und die Höhe der Grundwassersäule über dem Wasserboden zu finden.

## 2. Die Bewegung des Grundwassers.

Die Bewegung des Grundwassers im Boden ist eine doppelte. Einmal sinkt die Wassersäule in senkrechter Richtung von oben nach abwärts durch den permeablen Boden bis zu der undurchlässigen Schicht oder der auf derselben bereits angesammelten Wassermenge. Das andere Mal folgt es den Niveauänderungen dieser unterirdischen undurchlässigen Schicht und bewegt sich auf dieser nach abwärts, es ist ein Fliessen auf einer festen Unterlage, das entsprechend dem grossen Widerstande im Boden nur sehr langsam erfolgt. Es strömt auf diesem Wege schliesslich dem tiefsten Punkte zu, vorausgesetzt, dass nicht durch irgend einen Terraineinschnitt die undurchlässige Schicht blossgelegt wird, in welchem Falle dasselbe als Quelle (S. 249), als fliessendes Wasser zu Tage tritt, oder dass sich das Niveau der durchlässigen Schicht so weit erniedrigt, dass es zu oberflächlichen Wasseransammlungen kommt.

### a) Strömungsrichtung des Grundwassers.

Da nun in einem grossen Entwässerungsgebiete die Flüsse schliesslich als diejenigen Wasserläufe anzusehen sind, welche die Drainage derselben bewirken, so wird auch das Grundwasser allmählich diesen zufließen, wenn auch nicht direct, sondern in einer mehr parallelen Richtung mit seitlicher Ablenkung (vgl. S. 255). Dabei wird jedoch manche Unregelmässigkeit unterlaufen. Dort, wo sich tief ausgeschnittene Thäler befinden, der Fluss ein tiefes Bett sich gegraben hat und also das Grundwasser diesem tiefen Drainagepunkte zuströmen kann, dort wird sich die jeweilige Ebene gut entwässern. Wo jedoch das Flussthal sich derart verflacht, dass das Flussbett nur wenig tief in die Ebene einschneidet, dort wird unter Umständen das Grundwasser der Oberfläche sehr nahe, ja direct an die Oberfläche treten und zu Moos-Moorbildungen Veranlassung geben.

Die Bedingungen, unter denen ein richtiger Abfluss erfolgt, bestehen darin, dass das Flussbett wirklich bis an oder nahezu an der undurchlässigen Schicht gelegen ist und demgemäss eine im Verhältniss zur Grundwasserhöhe nur wenig mächtige Schicht lockeren Bodens sich über die undurchlässige Schicht erhebt. Als ein Aus-

---

1) I. Bericht der Commission u. s. w.

druck jenes Vorganges des Abfließens des Grundwassers gegen die Flüsse zu ist das Ansteigen des Grundwasserniveaus vom Flusse aufwärts zu betrachten, wie es schon von PETTENKOFER <sup>1)</sup> für die Münchener Hochebene (Fig. 19), von DELESSE <sup>2)</sup> für Paris (vergl. auch die Profile von Wien und Paris in Cap. III) constatirt wurde.

Innerhalb Münchens <sup>3)</sup> erhob sich im Jahre 1876 der mittlere Grundwasserstand auf eine Entfernung von ca. 1500 Meter um ca. 7 Meter über das Flussniveau. In Zürich <sup>4)</sup> stand 1855 der Spiegel der Limat ca. 400 Fuss unterhalb des Niveaus des Grundwassers der hochgelegenen Vorstadt Fluntern. In Paris <sup>2)</sup> betrug 1854 das mittlere Gefälle des Grundwassers gegen die Seine 1 auf 1000 Meter, in den der Seine unmittelbar benachbarten Partien 1 auf 100 Meter, während das Gefälle der Seine selbst nur 1 auf 20000 beträgt. In Wien hat SUESS <sup>5)</sup> ein Ansteigen der Wasserstände in den Brunnen vom Flusse gegen den Rand des Hochbezirkes hin als ziemlich ausgemacht hingestellt. Höchst interessant sind ferner seine Untersuchungen über das Verhältniss des Grundwassers auf einer 13¼ Meilen langen Strecke zwischen Pest und Szolnok, dem Theile einer Niederung, die sich zwischen Donau und Theiss fern von jedem Gebirge und mitten zwischen zwei grossen Flüssen hinzieht <sup>6)</sup>. Auf dieser Strecke stösst man etwa 45 Km. von der Donau und 55 Km. von der Theiss entfernt auf einen Punkt, an dem der Grundwasserspiegel 42 Meter über den Donauspiegel und 60 Meter über den Theisspiegel sich erhob. Nach beiden Seiten hin findet nun ein nahezu ununterbrochenes Herabsinken der Brunnenstände gegen den Spiegel der beiden genannten Ströme zu statt, die nun als natürliche Sammelkanäle, als Entwässerungsadern dieser Abdachung des Grundwassers aufzufassen sind, und wo uns der höchste Punkt jene Erhebung der undurchlässigen Schicht andeutet, die zur Bildung der unterirdischen Wasserscheide geführt hat.

Von besonderer Bedeutung ist es aber für die Entwässerung, für den Abfluss, wie schon auf S. 255 hervorgehoben, ob sich in der undurchlässigen Schicht Niveauverschiedenheiten befinden, die unter-

---

1) Hauptbericht.

2) DELESSE, Carte geologique souterraine de Paris et carte hydrologique de Paris.

3) II. Bericht der Commission u. s. w.

4) PETTENKOFER, 5 Fragen aus der Aetiologie der Cholera. Pappenheim's Monatsschrift für exacte Forschungen auf dem Gebiete der Sanitätspolizei. 1859.

5) E. SUESS, Der Boden von Wien.

6) E. SUESS, Ueber das Grundwasser der Donau. Oesterr. Revue. 1866.

irdische Thäler, Mulden u. dergl. repräsentiren. An solchen Stellen wird dem Abfluss, der Strömung des Grundwassers ein Hinderniss entgegen gesetzt, das Grundwasser muss hier stagniren, die Mulde wird sich mit dem zuströmenden Wasser bis zu ihrem Rande anfüllen und erst wenn auch der Rand überfluthet wird, dann erst kann das Grundwasser an der allgemeinen Bewegung theilnehmen. Diese Mulden haben aber besonders dann ihre Wichtigkeit, wenn sie als Entwässerungspunkte, als Recipienten eines oberhalb derselben gelegenen Territoriums auftreten; denn es ist wohl verständlich, dass dann auch in diesem sich eine mangelhafte Drainage etabliren wird, dafern nicht für genügenden Abfluss gesorgt wird.

Eine weitere Folge derartiger Bildungen wird sein, dass sich hier gewisse Schwankungen im Grundwasserstand, besonders solche, die durch gesteigerten Zufluss hervorgerufen sind, in viel rascherer und viel ausgiebigerer Weise etabliren werden als anderwo; denn dort, wo das Grundwasser in continuirlichem Strome über ein grosses Territorium hinwegfliesst, werden sich alle Veränderungen viel allmählicher, der Zeit nach einstellen, weil sie eben auch auf einen weit grösseren Raum sich vertheilen. Wo aber das Gebiet der Grundwasserströmung eine derartige Beschränkung erleidet, dort haben wir es dann förmlich mit einer isolirten und von dem grossen Strome mehr oder weniger unabhängigen Wassermasse zu thun, bei der wegen ihrer geringen Mächtigkeit alle Schwankungen rapider und intensiver sich geltend machen. Wir erfahren (Bd. II, Abth. III), dass in solchen Gegenden mit mangelhafter Entwässerung jene Krankheiten, die in Beziehung zum Boden stehen, ein eigenartiges Verhalten zeigen.

#### b) Die Intensität der Grundwasserströmung.

Die Strömung des Grundwassers im Boden ist eine langsame, entsprechend dem grossen Widerstande, auf den die Bewegung im Boden stösst. Die Gesetze über die Bewegung des Grundwassers haben ihre mathematische Entwicklung gefunden, indem man die bei der Filtration des Wassers durch poröse Materialien gewonnenen Erfahrungen auf sie zu übertragen suchte. Das von DARCY <sup>1)</sup> entwickelte Grundgesetz wird durch folgende Formel ausgedrückt. Bezeichnet  $V$  die Geschwindigkeit des Wassers,  $h$  die Druckhöhe,  $l$  den

1) DARCY, Les fontaines publiques de la ville de Dijon. 1856. — DARCY et BAZIN, Recherches hydrauliques. 1865.



zurückgelegten Weg und  $k$  einen vom Material abhängigen Coefficienten, so lautet die Formel

$$V = k \frac{h}{l},$$

d. h. die Schnelligkeit, mit der das Grundwasser durch den Boden hindurchströmt, steht in geradem Verhältniss zur Höhe des Wassers, im umgekehrten zur Höhe der Bodenschicht. Ausführliche Begründung und weitere Entwicklung hat dieses Gesetz durch BAZIN, DARCY, DUPUIT, RITTER, BUSINESQ, SMRECKER, THIEM u. A. erfahren.

Auf dem von uns bereits in Betracht gezogenen Gebiete der bayesischen Hochebene hat THIEM<sup>1)</sup> auf indirectem Wege versucht, zu einem Resultat über die Schnelligkeit der Grundwasserströmung zu gelangen. Man weiss, dass durch die Entnahme von Wasser aus dem Boden der Spiegel des Grundwassers allmählich eine Depression erleiden muss, deren Grösse von der Grösse der Wasserentnahme, der Permeabilität des Bodens, sodann aber auch von der Menge des vorhandenen Grundwassers und der Geschwindigkeit, mit der sich die entnommene Wassermenge wieder ersetzt, abhängt. Entnimmt man einem Brunnen Wasser in einer bestimmten Constanz und setzt die auf diese Weise gebildete Depressioncurve fest, so lässt sich aus den Differenzen mehrerer Pumpversuche die Einwirkungsgrenze des Brunnens und mit ihr die natürliche Geschwindigkeit, bezogen auf das benetzte Profil, berechnen. THIEM machte diesen Versuch an einem Versuchsbrunnen von Gleisenthal, oberhalb Deisenhofen, ca. 14 Km. südöstlich von München, in einem Erosionsthal, dessen einschliessende Thälwände stark geneigt sind, so dass die an diesem Orte durchschnittlich 50 Meter breite Thalsole sofort unvermittelt in die Hänge übergeht. Das Grundwasser ist in einer Höhe von 24—37 Metern von Kies und Nagelfluh überlagert, im Thalweg vermindert sich diese auf 3—5 Meter.

Fig. 22 zeigt die Situation im Querprofil von Ost nach West und gibt abermals einen Beleg dafür, dass die Oberfläche des Grundwassers unabhängig ist von der Configuration der Oberfläche, speciell von dem tiefen Thaleinschnitt hier; das Grundwasser bewegt sich von Südost nach Nordwest, mit stärkerem Gefälle in der Richtung von Süden nach Norden. Dieses betrug auf dieser Strecke in der Richtung von Süd nach Nord 1,45 Meter auf 871 Meter = 1,7 auf 1000 Meter, in der Richtung von Ost nach West 0,3 auf 920 Meter = 0,32 auf 1000 Meter.

Die Versuche, die gemacht wurden, bestanden der Hauptsache nach in der Beobachtung des Zusammenhanges zwischen Ergiebigkeit und Depression der Wasserspiegel in Brunnen und in den Beobachtungsrohren.

Aus dem Inhalt der benetzten Querprofile und aus dem Quantum des geförderten Wassers bestimmte THIEM die natürliche Geschwindigkeit des Grundwassers in diesem Profil und bezogen auf das-

1) Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung. 1880.

Axe Westen.

selbe fand er dieselbe zwischen 3,06—7,82 Metern in 24 Stunden oder 0,000035 bis 0,00009 Meter in der Sekunde.

Die Schwankungen, die hier bei einem und demselben Versuchsobjecte sich finden, sind jedoch sehr gross, die Resultate gehen um das 2,5fache auseinander, und liegen diese Differenzen anscheinend in der Wahl der zum Versuche gewählten Strecken. Wenn wir in den Versuchen THIEM's die für die Geschwindigkeit gewonnenen Zahlen mit denen für die Länge des Weges gegebenen vergleichen, so finden wir, dass mit Zunahme dieser letzteren die ersteren abnehmen:

Länge, aus welcher die Geschwindigkeit berechnet wurde, in Metern:

22      27      63

Gefundene Geschwindigkeit, in Metern pro 24 Stunden:

7,82      7,00      3,06

Von einem anderen Gesichtspunkte aus hat HESS<sup>1)</sup> die Bewegung des Grundwassers zu verfolgen und zu bestimmen versucht; er benutzte hierzu jene Vorgänge,

1) HESS, Beobachtungen über das Grundwasser der norddeutschen Ebene. Zeitschrift des Architekten- und Ingenieurvereins in Hannover. XVI. 1870.

Querprofil.

Axe Osten.

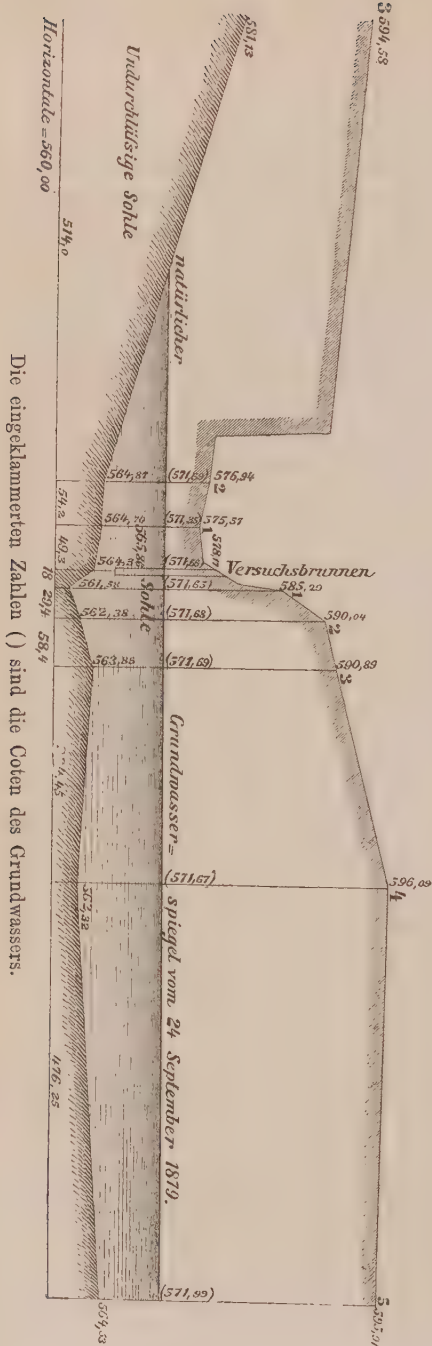
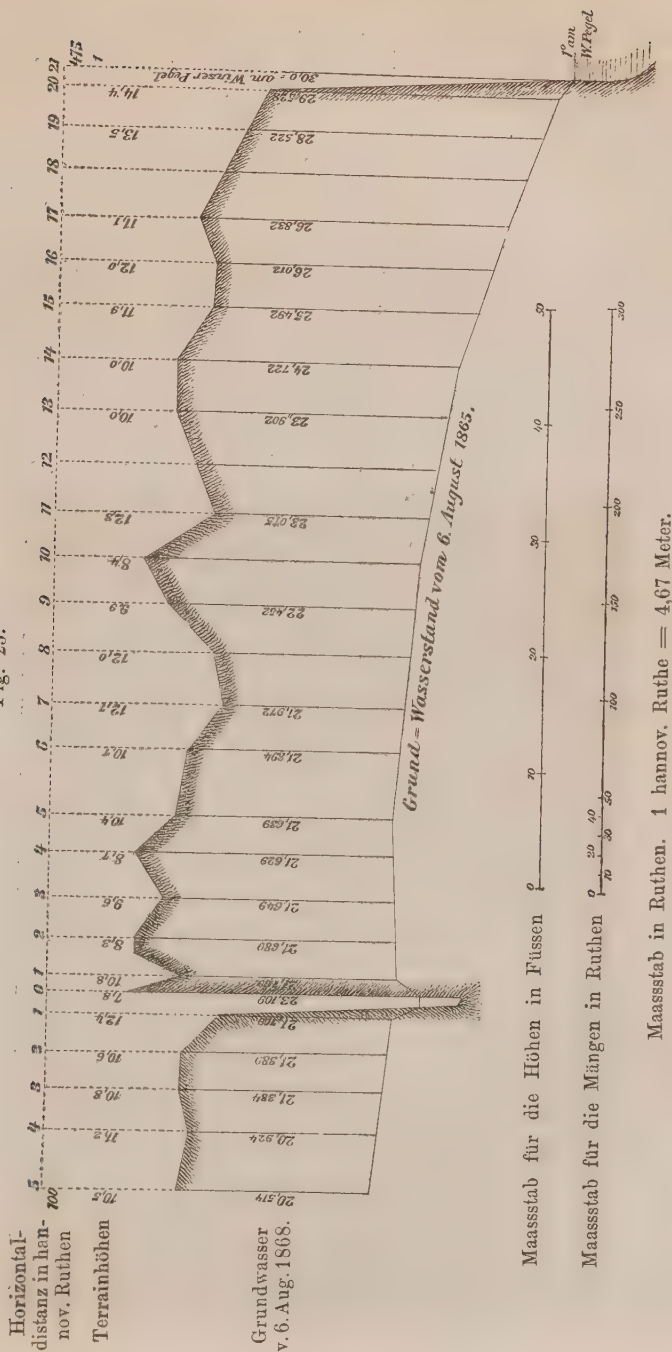


Fig. 23.



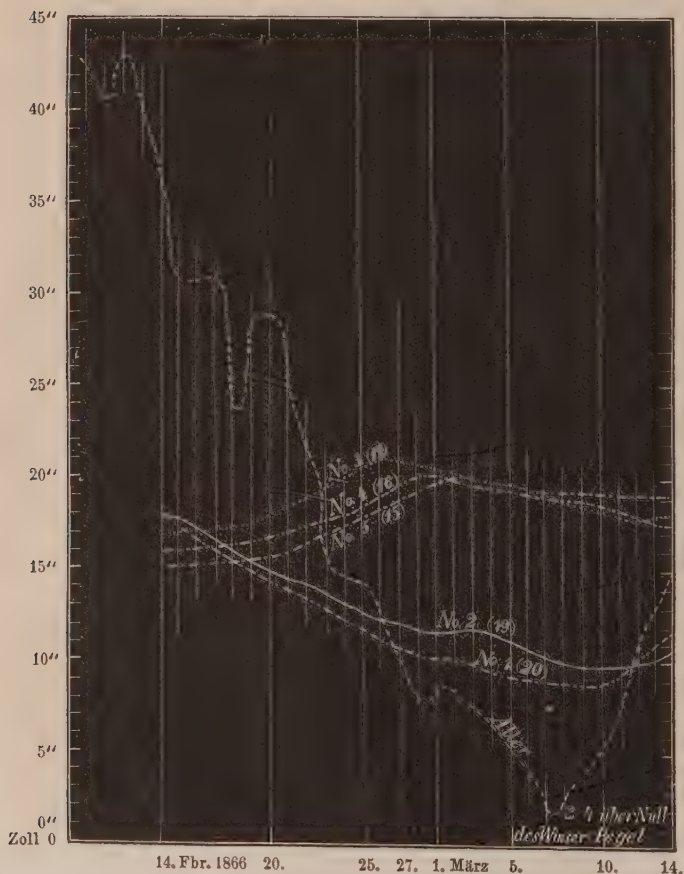
bei denen ein Anstauen des Grundwassers durch Hochwasser der Flüsse, ein Eindringen von Flusswasser ins Terrain erfolgt, und bestimmte die Zeit, um welche sich der Eintritt dieser Veränderungen im Boden verzögert.

Gegenstand seiner Beobachtungen waren die Hochwässer der Aller, die in den Monaten März und April 1866 auf einem in Fig. 23 im Profil dargestellten Terrain sich ereigneten und ihren Einfluss auf das Grundwasser ausübten. Die Beobachtungspunkte, an denen das Eindringen des Flusswassers der Zeit und Höhe nach beobachtet wurden, entsprechen den Nrn. 15, 16, 17, 19, 20 des Profils (Fig. 23), liegen mithin 120, 100,

Fig. 24.

Profil der Grundwasserstände in der Nähe des Allerflusses bei verschiedenen Wasserständen der Aller.

Hochwasser vom Februar bis März 1866.



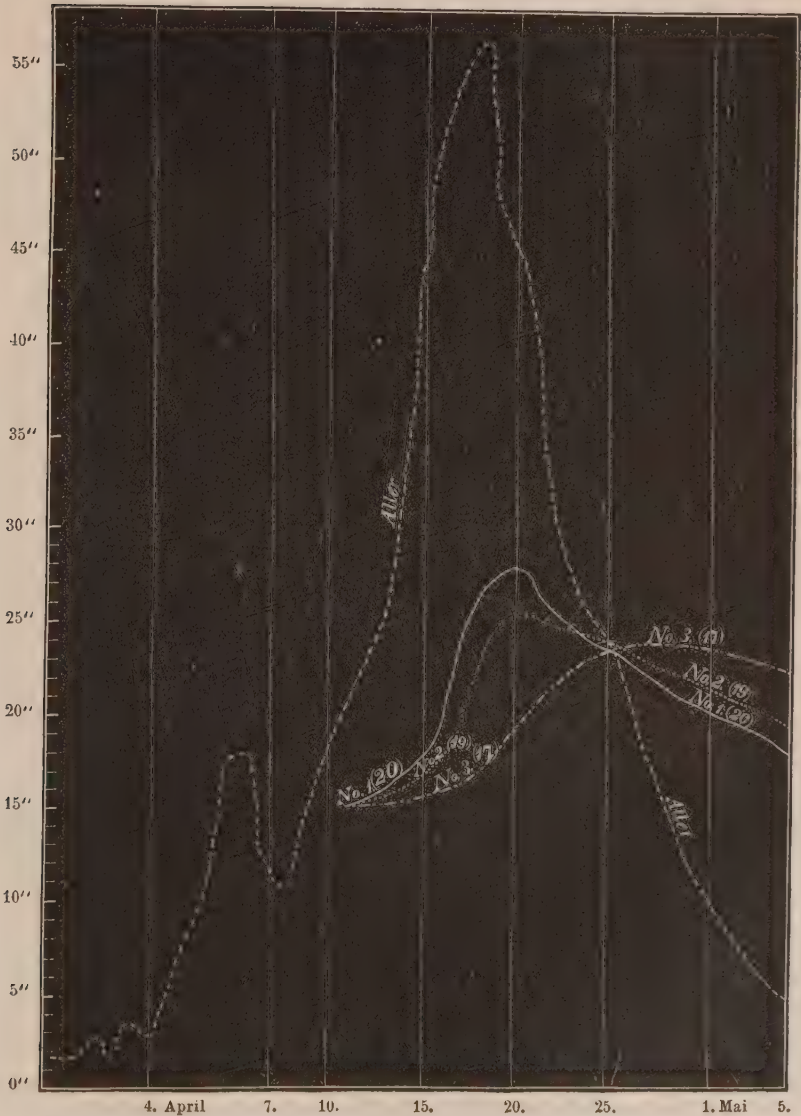


75, 30 und 10 Ruthen, d. i. 584, 468, 351, 140 und 47 Meter von der Aller entfernt.

Fig. 25.

Profil der Grundwasserstände in der Nähe des Allerflusses bei verschiedenen Wasserständen der Aller.

Hochwasser vom April 1866.



Die Beobachtungen im Februar und März 1866 ergaben, dass der Wasserstand bei Nr. 1 (Fig. 24), 47 und 140 Meter von der Aller, bereits 5 Tage nach Eintritt des höchsten Wasserstandes in der Aller zu sinken anfang, während in Nr. 3 (351 Meter von der Aller) erst 17 Tage nach Eintritt des Hochwassers in der Aller der höchste Wasserstand eintrat; bei Nr. 4 (468 Meter von der Aller) 19 Tage und bei Nr. 5 (584 Meter von der Aller) 21 Tage nach dem Hochwasser in der Aller.

Im April 1866 trat abermals ein bedeutendes Hochwasser ein, welches seinen höchsten Stand am 16. April erreichte. Im Grundwasser trat bei Nr. 1 der höchste Stand am 20. April, bei Nr. 2 am 21. April, bei Nr. 3 am 26. April ein. Die Erhöhung betrug 11,11 resp. 8,1/2''.

Die Verzögerungen, welche nach diesen Angaben die Schwankungen der Wasserstände im Boden erlitten haben, sind demnach folgende:

Bei dem Hochwasser im März 1866 betrug die Zeit, innerhalb der der höchste Wasserstand nach dem höchsten Stande der Aller sich einstellte:

in Nr. 1—2 für 47—140 Meter Entfernung vom Flusse . . . . .	5 Tage,
also die Geschwindigkeit pro Tag ca. 10—28 Meter;	
in Nr. 3 für 351 Meter Entfernung vom Flusse . . . . .	17 Tage,
also die Geschwindigkeit pro Tag ca. 20 Meter;	
in Nr. 4 für 468 Meter Entfernung vom Flusse . . . . .	19 Tage,
also die Geschwindigkeit pro Tag ca. 24 Meter;	
in Nr. 5 für 584 Meter Entfernung vom Flusse . . . . .	21 Tage,
also die Geschwindigkeit pro Tag ca. 28 Meter.	

Bei dem Hochwasser im April 1866 waren die Strömungsverhältnisse folgende:

Zeit, innerhalb welcher der höchste Wasserstand nach dem des Allerflusses sich einstellte:

in Nr. 1 für 47 Meter Entfernung vom Flusse . . . . .	4 Tage,
also die Geschwindigkeit pro Tag ca. 12,5 Meter;	
in Nr. 2 für 140 Meter Entfernung vom Flusse . . . . .	5 Tage,
also die Geschwindigkeit pro Tag ca. 28 Meter;	
in Nr. 3 für 351 Meter Entfernung vom Flusse . . . . .	10 Tage,
also die Geschwindigkeit pro Tag ca. 35 Meter.	

Als etwas den natürlichen Verhältnissen näher kommend sind jene Beobachtungen aufzufassen, in welchen die zeitliche Aufeinanderfolge der Schwankungen bei Abnahme des Hochwassers studirt wurde. Bei dem Hochwasser im Februar erfolgte die Abnahme recht rasch; während nun das Wasser in der Aller den tiefsten Stand am 7. März erreichte, war Niedrigwasser bei Nr. 1 (20) (Entfernung von der Aller 47 Meter) am 9. März, bei Nr. 2 (19) (Entfernung 140 Meter) am 10. März, bei Nr. 3 (17) (Entfernung 351 Meter) am 11. März, bei Nr. 4 (16) (Entfernung 468 Meter) am 14. März eingetreten.

Aus diesen Angaben lässt sich abermals annähernd die Geschwindigkeit berechnen, mit der das Grundwasser der Aller zuströmte, es betrug die Verzögerung, mit welcher sich das Niedrigwasser, das Grundwasser dem Stande der Aller gegenüber einstellte:

- bei Nr. 1 (20), 47 Meter Entfernung vom Flusse . . . . 2 Tage,  
 die daraus resultirende Geschwindigkeit 23,5 Mt. pro Stunde;  
 bei Nr. 2 (19), 140 Meter Entfernung vom Flusse . . . . 3 Tage,  
 die daraus resultirende Geschwindigkeit 47 Meter pro Stunde;  
 bei Nr. 3 (17), 351 Meter Entfernung vom Flusse . . . . 4 Tage,  
 die daraus resultirende Geschwindigkeit 88 Meter pro Stunde;  
 bei Nr. 4 (16), 468 Meter Entfernung vom Flusse . . . . 7 Tage,  
 die daraus resultirende Geschwindigkeit 67 Meter pro Stunde.

Aber auch hier haben wir kein vollkommen entsprechendes Bild der eigentlichen Grundwasserbewegung; wir haben es hier mit einem vom Flusse angestauten Wasser zu thun, dessen Ablauf sich wesentlich nach dem Ablauf des Flusses richten wird; höchstens könnte man die Befunde unter einander einem Vergleich unterziehen, und da ersieht man aus beiden Beobachtungsreihen, dass die Geschwindigkeit mit der Entfernung vom Flusse zuzunehmen scheint. FRÜHLING nimmt an, dass dies vielleicht seinen Grund habe in der Ablagerung thoniger Stoffe durch das beim Eindringen sich filtrirende Flusswasser.

Das Eindringen des Flusswassers in den Boden erfolgt also in diesem Falle mit einer Geschwindigkeit von 10—35 Metern pro Tag. In ähnlicher Weise wurde auch in Wien <sup>1)</sup> anlässlich des Hochwassers von 1880 an 4 Tagen der Wasserstand im Donaustrom und Donaukanal, sowie gleichzeitig das Grundwasser in benachbarten Baugruben und Brunnen verzeichnet. So werthvoll nun diese Zahlen im Allgemeinen auch sind, so geben sie doch keinen Maassstab für die wirkliche Strömung des Grundwassers. Sind doch die Verhältnisse, unter denen sie gewonnen wurden, ganz andere, zum Theil sogar direct entgegengesetzte als die für die Bewegung des Grundwassers geltenden. Es wurde hier nicht die Geschwindigkeit des gegen den Fluss zuströmenden Grundwassers, sondern umgekehrt die des aus dem Fluss in den Boden einsickernden Flusswassers untersucht. Es kommen also hier andere Gefällsverhältnisse in Betracht; als Motor wirkt hier nicht die Höhendifferenz, das Gefälle der undurchlässigen Schicht, sondern der in der Wasserhöhe des Flusses gegebene Druck, der das seitliche Einstromen veranlasst. Hierzu kommt dann freilich auch die Bewegung des Grundwassers, denn die Höhe des Grundwassers an jedem einzelnen Punkte ist abhängig von der Menge des vom Flusse herrührenden Wassers und von dem nachströmenden und durch den Fluss angestauten Wasser. Ausserdem ist selbst die Bodenschicht, für welche die Wassergeschwindigkeit berechnet wurde, nicht ganz dieselbe, wie die, in welche gewöhnlich das Grundwasser

---

1) Technischer Bericht über die Grundwasserverhältnisse in Wien. Erstattet vom Stadtbauamte im Februar 1880.

strömt, sondern es sind die höheren, sonst vom Grundwasser freien Schichten.

Zu maassgebenderen Resultaten konnten Versuche führen, die mit Beimengungen von im Grundwasser nicht vorkommenden, leicht nachzuweisenden Substanzen angestellt werden. Wenn sich auf einer Strecke, dem Laufe des Grundwassers folgend, eine Reihe von Brunnen oder Bohrlöchern befindet, so kann man dadurch, dass man an einem höher gelegenen Brunnen eine dieser Substanzen einführt, aus der Zeit, die vergeht, bis sich diese Substanz in einem tiefer gelegenen Brunnen nachweisen lässt, und aus der Distanz zwischen diesen beiden Brunnen die Geschwindigkeit bestimmen, mit der sich das Grundwasser bewegt.

An dem S. 262 beschriebenen und im Profile Fig. 22 dargestellten Versuchsbrunnen wurden mit Hilfe von Kochsalz und Blutlaugensalz Bestimmungen der Grundwasserströmung gemacht, jedoch nicht bei den natürlichen Verhältnissen der Grundwasserströmung, sondern bei einer durch Pumpen auf 3 Meter gebrachten Absenkung des Grundwasserspiegels. Auf diese Weise wird also nur constatirt, wie sich die saugende Wirkung in die Ferne verbreitet hatte. Wir wollen dennoch in etwas auf diese Versuche eingehen, da sie durch ihre Anordnung immerhin einen Schluss auf die Strömungsverhältnisse des Grundwassers gestatten.

Diese Versuche gingen ferner von der Voraussetzung aus, dass die Beschaffenheit des Bodens in der Umgebung des Bodens vollständig gleichartig sei und dass in nächster Nähe des Schachtes, aus dem das Wasser gepumpt wurde, das denselben speisende Wasser central zuströme.

Die Versuche wurden nun an 5 Bohrlöchern angestellt, deren Lage und Entfernung z. Th. aus dem Profile Fig. 22 ersichtlich ist, und von denen 3 auf der südlichen, 2 auf der östlichen Axe lagen. Das Resultat war folgendes:

Die Geschwindigkeiten ergaben:

	für die südliche Axe		für die östliche Axe	
	pro Secunde	pro 24 Stdn.	pro Secunde	pro 24 Stdn.
für die Entfernung von:	Meter	Meter	Meter	Meter
5 Mt. vom Centrum des Hauptbrunnens	0,024	2073,6	0,011	950,4
10 " " " " "	0,0121	1045,4	0,0056	483,8
20 " " " " "	0,006	518,4	0,0028	241,9
50 " " " " "	0,002	172,8	0,001	86,4
100 " " " " "	0,001	86,4	0,0006	51,8

Die Geschwindigkeit nimmt hier natürlich mit der Entfernung vom Hauptschachte, d. h. von dem Orte, wo gepumpt wird, ab, dabei aber sehen wir, dass die Bewegung des Wassers gegen die Pumpstelle hin in der südlichen Axe viel rascher (ungefähr zweimal



so rasch) erfolgt als in der östlichen (hauptsächlich deshalb, weil im ersten Falle die natürliche Bewegung des Grundwassers, sein Gefälle, seine Stromrichtung in dieser Axe gelegen ist, während die Bewegung in der östlichen Axe in einer dem Grundwasserstrom zum Theil entgegengesetzten Richtung erfolgte, vergl. S. 261). Es liesse sich aus diesen Daten vielleicht eine Berechnung der natürlichen Grundwasserbewegung anstellen an der Hand der Niveauabsenkung (3 Meter) und der Verzögerung in der dem Grundwasserstrom entgegengesetzten Ansaugung, besonders wenn wir auch die Resultate der Durchlässigkeitsbestimmung des Bodens in verticaler Richtung herbeiziehen (vgl. S. 110), die für das vertical niedergehende Wasser eine Geschwindigkeit von 23 Min. 9 Sec. für den Meter oder von 0,00072 Meter in der Secunde ergeben haben; es haften jedoch den so erhaltenen Zahlen doch noch zu viele Fehlerquellen an. Die Voraussetzungen, von denen der Versuch ausging, dass das Material der Umgebung ein vollkommen gleichartiges sei, dass in der Nähe des Schachtes, aus dem Wasser gepumpt wurde, das denselben speisende Wasser zuströme, sind nicht als erwiesen zu betrachten, auch ist eine eventuelle Diffusion der gelösten Stoffe nicht mit in Betracht gezogen worden und wohl noch andere Momente.

Als feststehend können wir jedoch betrachten, dass die Strömung des Grundwassers gegenüber der der offenen Wasserläufe in der Regel eine viel langsamere sein wird, und so dient das Grundwasser gewissermaassen als Regulativ für die Wasserzüge, das in Zeiten starken Zuflusses Vorräthe aufspeichert, welche nur allmählich wieder abgegeben werden.

### *3. Mächtigkeit des Grundwasserstromes und Niveauabstand von der Oberfläche.*

Um über diese und noch einige spätere Punkte eine richtige Vorstellung zu bekommen, genügt es nicht, irgend eine locale Grundwasseransammlung ins Auge zu fassen, sondern es muss ein seinen geologischen und meteorologischen Verhältnissen nach einheitliches, möglichst grosses Gebiet in Berücksichtigung gezogen werden und ein Ueberblick gewonnen werden über das Grundwasser, sowie die übrigen Wasserläufe in ihrem Ursprunge, dem Punkte, wo die Niederschläge an höchster Stelle einsickern oder abfliessen, bis hinab zu dem Punkte, wo das Grundwasser in die offenen Wasserläufe ausmündet oder oberflächlich abfließt.

Dies ist freilich nicht immer leicht möglich, es setzt eine genaue geologische Durchforschung der Gegend voraus und auch dann kön-

nen die Lagerungsverhältnisse der einzelnen Bodenschichten sehr erschweren.

Eine relativ leichte Orientirung gewähren die Verhältnisse auf der bayerischen Hochebene, auf deren Details schon wiederholt Bezug genommen wurde. Diese Hochebene <sup>1)</sup> (Fig. 26) bietet in ihrem südlichen, dem Gebirge anschliessenden Theile einen äusserst einfachen geologischen Bau, entsprechend der Entstehung derselben. Die durchgreifende Vergletscherung, die während der Eiszeit die Alpen betroffen hatte, liess die Eisströme alle Thäler ausfüllen und bis auf die Hochebene herabsteigen, die nunmehrigen Flussthäler des Inn, der Isar, des Lech u. s. w. als Inn-, Isar- und Lechgletscher u. s. w. ausfüllend. Während nun unmittelbar dort, wo der Gletscher selbst die Erdoberfläche bedeckte, seine Grundmoräne als eine compacte, feste, wegen der massenhaften Thonbeimengungen und undurchlässige Decke zurückblieb, lagerten sich in den vor den Gletschern gelegenen Regionen die durch die Schmelzwässer transportirten, von der Moräne abgelösten Geröllmassen in den Thälern als Glacialkies, Glacialschotter ab, in weit grösserer Mächtigkeit und Breite, als dies den heutigen Flussthälern entspricht, und gaben so Veranlassung zur Bildung jener mächtigen Kies- und Gerölllager, welche die bayerische Hochebene in den Flussthälern des Inn, der Isar, des Lech bedecken, auf dem tertiären Flinz aufruhend. Die Mächtigkeit dieser Kieslager über der undurchlässigen Schicht ist eine allmählich von Nord nach Süd abnehmende, was sich ebenfalls aus der Entstehungsgeschichte derselben erklären lässt, indem die Ablagerung aus dem Wasser allmählich mit dessen weiterem Lauf abnehmen musste. So erstreckt sich denn vom Gebirge her und zwar von der Grenze der Moränenlandschaften nach Norden eine Reihe von Gletscherstrombetten, jetzt mit Kies, mit Geröll ausgefüllt, welche die charakteristischen, in ihrer Zusammensetzung und für das Studium des Grundwassers so einfachen Verhältnisse darbieten.

Es sei hierbei betont, warum auf der norddeutschen Ebene, wo doch ebenfalls die Bodenbeschaffenheit auf eine frühere Vergletscherung hinweist, diese Verhältnisse einen viel weniger deutlichen Einblick gewähren. Die Vergletscherung übt stets eine doppelte Wirkung auf die Bodengestalt aus, eine unmittelbare, dem Gletscher selbst zukommende, diese äussert sich wieder nach zwei Richtungen hin, zerstörend und aufbauend, indem der sich bewegende Gletscher auf seiner Wanderung seine Unterlage erodirt und sie als Moräne weiter transportirt und an seinem Ende als Endmoräne wallartig aufthürmt, sodann eine mittelbare, den vorangehenden Niederschlägen und dem Schmelzwasser zuzuschreibende, die in dem Transport und der Ablagerung des von den Moränen losgelösten Gerölles, des Glacialschotters, besteht. Während nun in Süddeutschland die unmittelbare wie die mittelbare Gletscherwirkung in derselben Richtung sich

1) Vergl. PENCK, Die Vergletscherung der deutschen Alpen. Leipzig 1882.

Fig. 26.

Querprofil durch die bayerische Hochebene von den Alpen bis an die Donau zur Veranschaulichung der Bodenverhältnisse von München und Umgebung.

Gebiet der Münchener Grundwasser-  
schicht auf permeablem Boden

Süd

Gebiet der stagnierenden  
Wässer auf impermea-  
belm Boden  
Oster See  
Starnberger  
See  
München

Sammelgebiet  
des Grund-  
wassers auf der  
schiefen Hoch-  
fläche von München

Quellgebiet des  
Grundwassers auf  
der schiefen Hoch-  
fläche von München

Gebiet der lokalen Grund-  
wasserschichten in permea-  
belm Boden mit lokalen  
impermeablen Schichten

Nord

Freising

Regensburg

Jura und Bayerwald.

Hochebeneninformationen

Moränen  
(impermeabel)

Diluvialkies  
(permeabel)

Obermiozän  
(Eltz-impermeabel)

Mittelmiozän  
(Sand-permeabel)

Untermiozän  
u. Ältere Molasse.  
(permeabel)

Sand.

Grundlage

Flysch.

Kreide.

Jura u. Alpenkalk.

Ungabunge.

Länge 1 : 1 250 000. ; Höhe 1 : 25000. Höhe : Länge = 50 : 1.

bewegt, indem die Wanderung der Gletscher wie der transportierenden Wasserläufe von Süd nach Nord geschah, war dies in Norddeutschland nicht der Fall. Die von Skandinavien über Norddeutschland sich ausbreitenden Gletscher rückten von Norden nach Süden vor, während die Wasserläufe, wie ein Blick auf die Landkarte zeigt, die entgegengesetzte Richtung einschlugen.

Das bereits besprochene Grundwasser um München ist nun als ein Theil eines Gebietes aufzufassen, das als das Gletscherstrombett des Isargletschers zu betrachten ist. Wir können hier ein continuirliches, unterirdisches, die Neigung von SSW nach NNO einhaltendes Grundwasserbecken annehmen, das an der äussersten Grenze der Moränenlandschaft beginnt und schliesslich seinen tiefsten Punkt, seine Entwässerung bei Moosburg, am Zusammenfluss der Amper und Isar findet. Wir müssen dies Gebiet an der Moränenlandschaft beginnen lassen, da diese als eine undurchlässige Tertiärschicht keine Grundwasseransammlung, wohl aber Seenbildung, wie Starnberger, Ammer-See u. s. w., entstehen lassen kann.

Die grösste Breitenausdehnung dieses Beckens fällt ungefähr in die Gegend von München mit ca. 35 Km., die Ausdehnung von Süd nach Nord ca. 70 Km. Es erstreckt sich über ein Areal von 1485 □ Km. resp. 148558 Hektaren. In diesem Gebiet nun bildet das Grundwasser ein mehr oder weniger einheitliches Ganze, und wollen wir die Beziehungen desselben zu den beeinflussenden Factoren an einem Punkte feststellen, so müssen wir nothwendigerweise die das ganze Areal betreffenden Momente in Berücksichtigung ziehen.

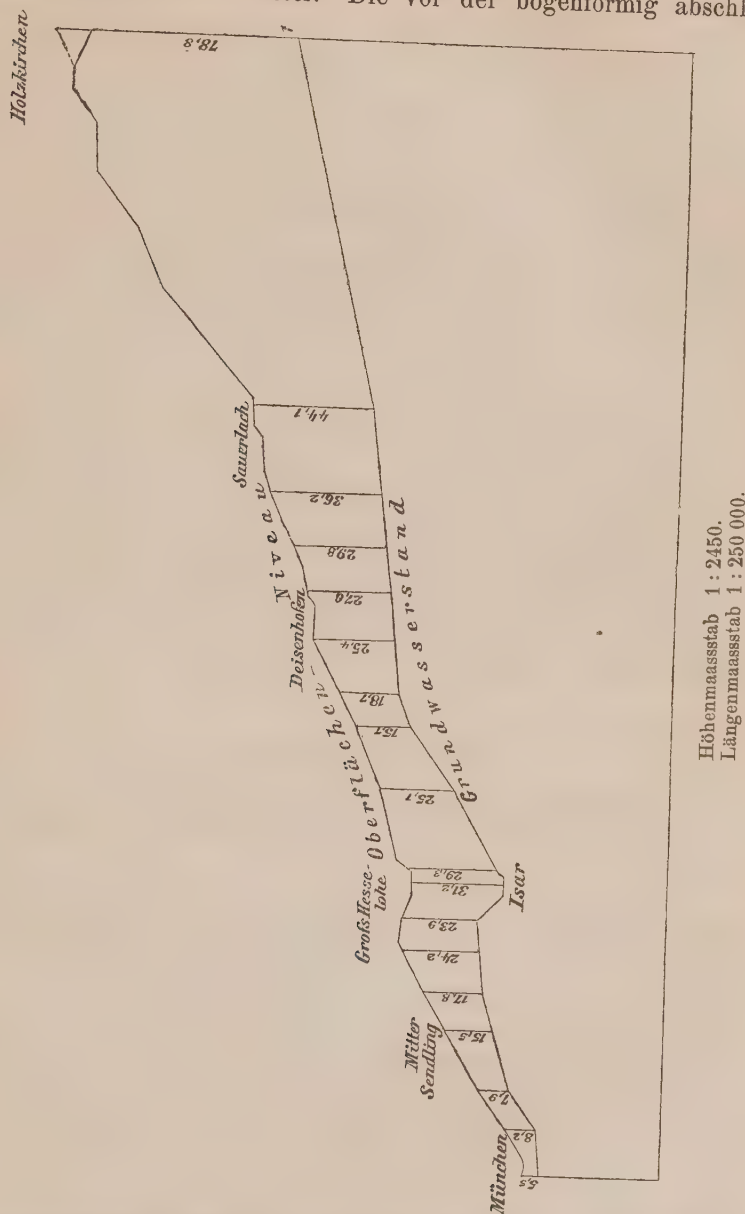
Der Aufbau dieses Gletscherstrombetts gibt uns nun ferner ein Bild von den Beziehungen des Grundwassers zur Oberfläche. Die Tiefe, in welcher das Grundwasser unter dem Oberflächenniveau sich findet, ist eine wechselnde. Sie hängt von dem Niveau der undurchlässigen Schicht, aber natürlich auch von der Höhe der über derselben aufgethürmten durchlässigen Kiesschicht ab. Da nun diese Anschwemmungen glacialen Schotters je weiter der Strom von seinem Ursprunge sich entfernt, an Mächtigkeit abnehmen, so müssen auch, von localen Unregelmässigkeiten, Hügelbildungen, Thaleinsenkungen abgesehen, die über dem Flinz sich ausbreitenden Kieslager und mit ihnen die Entfernung, in welcher das Grundwasser unter dem Niveau der Oberfläche sich befindet, von Nord nach Süd abnehmen. Dies tritt auch vollkommen zu Tage. Je mehr wir uns von Süden nach Norden nähern, desto früher stossen wir auf die wasserundurchlässige Schicht, desto früher auf das Niveau des Grundwassers.

Unmittelbar an der Grenze der Moränenlandschaft beträgt allein



die Entfernung vom Niveau des Terrains bis zu dem des Grundwasserspiegels 30—85 Meter. Die vor der bogenförmig abschlies-

Fig. 27.



Höhenmaasstab 1 : 2450.  
Längenmaasstab 1 : 250 000.

senden Endmoräne gelegenen Bohrungen geben bei gleicher Terrainhöhe, ca. 660 Meter über dem Meeresspiegel, in der Richtung von

Südost nach Nordwest folgende Abstände des Grundwassers von der Oberfläche <sup>1)</sup>:

Mittlerer Abstand 40,4, Föching 70,0, Kl. Eichenhausen 44,5, Ebertshausen 24, Gauting (Terrainhöhe nur 564 Meter) 20,6.

Im Gleissenthal bei Deisenhofen, ca. 6,5 Km. nördlich, hat sich diese Distanz bereits auf 19—8 Meter vermindert, in München selbst, ca. 16,5 Km. von der äussersten Moräne entfernt, auf 2—6 Meter und noch weiter nördlich tritt das Grundwasser bereits an vielen Stellen als Quellen und Moor zu Tage.

Fig. 27 gibt ein kleines Uebersichtsbild über diese Verhältnisse nach Brunnenmessungen, die längs der Eisenbahn gemacht wurden; je weiter nach Norden, desto mehr nähert sich das Grundwasser der Oberfläche, indem die Geröllschicht an Mächtigkeit abnimmt.

Auf dieser Strecke von 37 Km. verringert sich der Abstand des Grundwasserniveaus von der Oberfläche von 78,8 resp. 67,8 Meter zu 5,5 Meter, also um 62,3 Meter. Es kann dies nur eine Folge davon sein, dass das Niveau der Oberfläche stärker fällt als das des Grundwassers, und in der That, die Höhendifferenz im Niveau der Oberfläche beträgt auf dieser Strecke von Holzkirchen bis München 164,1 Meter, entsprechend einem Gefälle von 4,4 auf 1000, wogegen das Grundwasserniveau auf dieser Strecke nur um 80,6 Meter, entsprechend einem Gefälle von 2,16 auf 1000, fällt.

#### 4. *Herkunft des Grundwassers.*

Wir müssen für alle die Wasseransammlungen im Boden, Quellen wie Grundwasser, Bäche, Flüsse, die meteorischen Niederschläge verantwortlich machen.

Je nachdem der Erdboden oder die Gesteine mehr oder weniger wasserundurchlässig sind, dringt mehr oder weniger von dem Meteorwasser ein. Das bis zu gewissen Tiefen gedrungene Wasser kommt entweder an tieferen Stellen der Erdoberfläche in Quellen wieder zum Vorschein oder es setzt seinen unterirdischen Lauf bis zu benachbarten Flüssen, Seen oder Meeren fort. Die Meteorwässer, Regen, Schnee, Thau u. s. w., das Wasser der Bäche, der Flüsse, der Seen und des Meeres, das schmelzende Eis der Gletscher, sind die Gewässer unserer Erde, aus denen die Quellen entstehen <sup>2)</sup>.

1) Die Wasserversorgung der Stadt München. Vorproject von A. THIEM.

2) BISCHOF, Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie.

Wir wollen diese Frage hier sofort entscheiden, wenn wir auch noch einmal auf den Zusammenhang zwischen Grundwasser und Niederschlag bei Betrachtung der Schwankungen beider eingehen müssen.

Ob die Niederschläge wirklich ausreichen, um sämtliches Grundwasser eines bestimmten Gebiets zu speisen, lässt sich an gewissen grossen Entwässerungsgebieten entscheiden und ist auch in positivem Sinne entschieden worden.

Bei dem Garonnefluss fand man durch 14jährige Beobachtung die jährliche Regenmenge an der Mündung des Flusses (bei Marmande) 731 Mm., im Garonnethal 627 Mm. Der Inhalt des Flussgebiets ist 5 193 978,1 Hektaren, die mittlere Wassermenge im Jahre 32566 Millionen Cubikmeter. Die Wassermenge der Garonne beträgt dagegen nur 21692 Millionen Cubikmeter im Jahre, also nur 64,6 % der Regenmenge.

An der Brücke unterhalb der Tuilerien führt die Seine bei mittlerem Wasserstande 255 Cbm. pro Secunde ab, das gibt im Jahr 8042 Millionen Cubikmeter. Der Flächenraum, von dem das Wasser hier abgeführt wird, beträgt 4 327 000 Hektaren, die Regenmenge 561 Mm. pro Jahr; die Niederschlagsmenge beträgt also im Jahr 24274 Millionen Cubikmeter, von denen die Seine nur ca.  $\frac{1}{3}$  abführt. Aehnlich hat man für die Rhone berechnet, dass ihre durchschnittliche Abflussmenge beiläufig gleich ist 58 % des auf dieser Fläche sich ergebenden Niederschlags.

Für das Inselreich England hat DALTON eine Berechnung über Einnahme und Ausgabe an Wasser angestellt. Bei einem mittleren Regenfall von 36,4 engl. Zoll = 924,5 Mm. fand er eine Niederschlagsmenge von . . 4 181 713 536 000 Cbfuss = 118 342 Mill. Cbm.

Die Themse ergiesst

jährlich ins Meer .	166 624 124 000	„	=	4 715	„	„
---------------------	-----------------	---	---	-------	---	---

Die übrigen Flüsse von

England und Wales	1 499 617 152 000	„	=	42 439	„	„
-------------------	-------------------	---	---	--------	---	---

---

Zusammen 1 666 241 280 000 Cbfuss = 47 154 Mill. Cbm.

so dass die Abflussquote 39,8 % des Regenfalls beträgt und insgesamt 60,2 % desselben verdunstet werden.

Der Rhein lässt nach BERGHAUS bei Emmerich durchschnittlich pro Secunde 2600 Cbm. abfliessen. Das Flussgebiet des Rheins beträgt 4080 □ Meilen = 224 644 800 000 □ Meter mit einem mittleren Regenfall von 26,4 Pariser Zoll = 714,6 Mm. Das beträgt jährlich 5 346 432 Millionen Cubikfuss = 965 739 Millionen Cubikmeter oder pro Secunde 169 534 Cubikfuss = 5255 Cbm. Sonach beträgt der Abfluss nur 49,8 % des Regens.

Aehnliche Berechnungen sind für die Weser, für die Lippe, die Rehde bei Danzig, die Brienne, die Yonne <sup>1)</sup> angestellt worden. Die Wassermengen, die durch die Flüsse zum Abfluss gelangten, schwankten zwischen 52—74 % der Niederschläge.

Wenn wir jedoch die Herkunft irgend einer localen Wasseransammlung zu einer bestimmten Zeit erklären wollen, so reicht diese einfache Deutung oft nicht aus, da die meteorischen Factoren mitunter erst nach einiger Zeit, oder an einem entfernten Orte, oder überhaupt indirect zu Tage treten. Auch haben wir entsprechend der einheitlichen Auffassung eines grossen Grundwassergebiets die Communication im Auge zu behalten, und so gelangen wir dazu, für die jeweilige örtliche Grundwasseransammlung drei Momente als entscheidend anzusehen:

1. die unterirdische directe Zusickerung von Grundwasser aus den höheren Partien des einheitlich zusammenhängenden Gebiets,
2. die eventuellen Zuflüsse, welche von offenen Gerinnen, die bereits das Wasser des Bodens und der Oberfläche gesammelt haben, als Verlust an das Grundwasser abgegeben werden,
3. die Niederschläge.

#### *5. Unterirdische Zuflüsse von Grundwasser.*

Das Wasser, welches aus dem Gebirge zufliesst, wird nur unter günstigen Umständen, bei geeigneter Configuration und einem ununterbrochenen Zusammenhange mit dem Gebirge dem Grundwasser zufließen können; sowie sich aber eine undurchlässige Schicht zwischen den Abfall des Gebirges und die Hochebene einlagert, wie dies z. B. bei der Moränenlandschaft der Fall (Fig. 26), wird die Speisung des Grundwassers auf diesem Wege aufhören.

Für das Quellengebiet südlich von Wien, am Abhange der Alpen, in der Gegend von Wiener Neustadt, ist die aus dem Gebirge zusetzende Wassermenge ein wichtiges beständiges Element der Speisung, gleichsam eine untere Schicht von Grundwasser, über welche sich die beiden anderen veränderlichen Arten von Zuflüssen, wie obere Schichten, bald in grösserer, bald in geringerer Mächtigkeit fortbewegen <sup>2)</sup>. Für das von uns speciell als Beispiel angeführte Münchener Gebiet (Fig. 26) kann dies ebenfalls bis zu einem gewissen Grade angenommen werden; dort jedoch, wo die Endmoränen die früheren Gletscher dieser Zone mit einem impermeablen Wall um-

1) Zusammengestellt in: G. v. MÖLLENDORFF, Die Regenverhältnisse Deutschlands. 1862. 2) Bericht über die Erhebungen der Wiener Wasserversorgungskommission. Wien 1864. S. 160.



geben, aus dem das Wasser, das sich in den hinter den Endmoränen befindlichen Depressionen in Form von Seen (Starnberger-, Ammer-, Chiemsee u. s. w.) angesammelt, nur durch schmale Einschnitte (Würm, Amper, Alz) abfließen wird, wird keineswegs eine ausgedehntere unterirdische Durchsickerung eintreten.

In neuester Zeit wird auch von italienischer Seite auf eine derartige unterirdische Wassercirculation hingewiesen, die geeignet sein soll, die eigenthümlichen Verhältnisse der Bodenfeuchtigkeit in der malariareichen Campagne zu erklären.

Diese römische Campagne, der Ager romanus, stellt ein keineswegs ebenes Terrain dar, sondern besteht zum mindesten zu vier Fünftel aus Hügeln, die zu beiden Seiten des Tiberthals stufenweise bis zu den vulkanischen Bergen der Sabatinischen Kette nach Norden und bis zu jenen der Latischen Kette nach Süden zu aufsteigen, und meist sehr hohe Erhebungen über das Niveau des Tiberthals und seiner zahlreichen Seitenthäler bilden.

Bei der Betrachtung der Wasserverhältnisse dieser Gegend wird man nun überrascht durch das ungeheuerere Missverhältniss, welches zwischen der Regenmenge, die auf den Boden fällt, und der grossen Menge lebendiger Quellen und Wassertümpeln besteht, die durch die unterirdische Vertheilung dieser Quellen entstehen, welche man fast aller Orten am Fusse der Hügel, mitunter selbst an ihren Abhängen antrifft. Das Jahresmittel der Regenmenge in dieser Gegend beträgt nur eine Wasserhöhe von einigen Centimetern; überdies verläuft sich oder verdunstet das Regenwasser in diesem trostlosen Gebiet und die Sommer geht oft vorüber, ohne dass ein einziger Regentropfen fällt. TOMMASI-CRUDELI<sup>1)</sup> schliesst sich in der Erklärung dieser Verhältnisse den Arbeiten Dr. TUCCI's an, welcher hier ein unterirdisches Hinzusickern von Wasser aus höher gelegenen Gegenden annimmt. Die ganze Campagna von Rom wird nämlich zu beiden Seiten der Tiber von alten vulkanischen Kratern beherrscht, welche in bemerkenswerther Höhe im Norden auf den sabatinischen, im Süden auf den latischen Bergen gelegen sind. Einige dieser Krater sind jetzt Seen, andere sind geschlossene Bassins. Das Wasser, welches sich in diesen Becken sammelt, und ebenso jenes, welches die Seen enthalten, dringt in die permeableren Lagen der Wände und des Grundes dieser alten Krater ein, gelangt in den unter der römischen Campagna gelegenen Grund und bildet dort ausgedehnte unterirdische

---

1) TOMMASI-CRUDELI, Die Malaria von Rom. Deutsch von Schuster. 1882, und Il Clima di Roma. Rom 1886.

Wasserflächen, welche in der Richtung der Flussthäler nach abwärts verlaufen. Diese Wasserflächen können manchmal ihrer ganzen Dicke nach die Hügel durchsetzen, in deren Zusammensetzung vulkanischer Tuff und Thon eintritt, vorausgesetzt, dass auch starke Schichten von Puzzolan, Lapilli, Sand oder Kies vorhanden sind. Wenn sie jedoch auf ihrem Wege Hügel finden, welche vollständig aus wenig durchlässigem Material bestehen, so bewirkt die Kraft des Impulses, welche ihnen innewohnt, dass sie auf dem Rücken dieser compacten Formationen emporsteigen, oder sie zwingt sie, unter denselben durchzugehen und ihren Weg jenseits der Basis des Hügels fortzusetzen. Diese letztere Thatsache gibt uns die Erklärung für die grosse Menge von Quellen, welche man am Fusse der römischen Hügel antrifft, insbesondere auf der rechten Seite des Tiber, deren Hydrographie durch das grosse Reservoir von Bracciano, ca. 30 Km. nordwestlich von Rom, beherrscht wird.

Diese unterirdischen Wasserflächen grenzen an den Tiber und die Seitenflüsse der Campagna und speisen alle diese Wasserläufe, so dass sie ihnen eine gleichmässige Fortdauer durch alle Zeiten des Jahres erhalten. Allein ein grosser Theil dieses Wassers bleibt doch im Untergrunde der römischen Campagna eingeschlossen zwischen den wenig durchlässigen Schichten der Hügel oder aber unter der Masse von abgewaschenem Erdreich, welches in den Thälern angehäuft ist.

In diesem letzteren Falle können die Thäler von diesen Gewässern, welche unter der pflanzentragenden Schicht stehen und daraus manchmal Sümpfe bilden, befreit werden; es handelt sich nur darum, in tiefen Graben, welche parallel mit der Basis der Hügel gezogen sind, alle die unterirdischen Quellen, welche daraus hervorkommen, zu sammeln und diese Gewässer dem natürlichen Sammelplatz zuzuführen.

Um jedoch das Innere der römischen Hügel von diesen Gewässern zu befreien, dazu scheint nach TUCCI bei den Alten ein in der letzten Zeit aufgedecktes, ausgedehntes und weitverzweigtes System von unterirdischen Stollen, Tunneln (cuniculi) von einer durchschnittlichen Höhe von 1,5 Meter und Breite von 0,5 Meter gradient zu haben; diese zu einem grossen Kanalnetze sich vereinigenden Stollen bildeten ein ziemlich vollkommenes Drainagesystem. Sie fehlen beständig in allen Hügeln, die aus Lava oder Alluvialkies bestehen, und selbst in den Hügeln, in deren Zusammensetzung sich vulkanischer Tuff findet, deren Hauptmasse aber aus Puzzolan oder Lapilli besteht. In allen diesen Fällen vollzieht sich die Entwässe-

rung des Untergrundes auf natürlichem Wege, was durch die Sedimente bestätigt wird, die identisch sind mit jenen, welche die cuniculi verstopfen, und welche das Wasser in den Spalten der Lava, in den Zwischenräumen des Kiesel und der Lapilli und im Innern der alten Puzzolangeruben, welche man manchmal in diesen Hügeln findet, abgesetzt hat. Im Gegensatz hierzu enthalten die Hügel, deren Hauptmasse aus vulkanischem, wenig durchlässigem Gestein besteht, das man im Grossen und Ganzen mit der Artenbezeichnung Tuff zuzusammenfasst, eine mehr oder weniger grosse Zahl dieser Stollen.

Wenn wir von dem, jedenfalls noch hypothetischen Zusammenhange mit dem Seebecken absehen, so haben wir hier besonders in jenen Fällen, wo es sich um eine unterirdische Circulation in den für Wasser nicht undurchlässigen Hügeln handelt, nichts anderes vor uns, als einen Grundwasserstrom, der vom Gebirge her zuströmt, und der vorwiegend von den im Gebirge fallenden Niederschlägen gespeist wird. Es ist deshalb wohl auch gar nicht nöthig, eine Permeabilität des Seebodens, der Seewände, eine Einpressung des Wassers von den Seen her anzunehmen. Auch die Art und Weise, wie die Drainirung in jenen Gegenden vorgenommen werden kann, in welchen das Wasser unter dem lockeren Erdreich des Thalbodens sich bewegt, die Anlegung von Gräben, parallel zur Hügelbasis, stimmt vollständig mit jenem Vorschlage von DAUBRÉE (S. 249) überein, die unterirdischen Quellen des Grundwassers behufs ihrer Verwerthung zu sammeln.

Eine Analogie zu diesem Verhalten bietet die Erklärung des Vorherrschens von Malaria in mehreren regenlosen Oasen der afrikanischen Sahara, deren geologische Structur man sich nach HIRSCH <sup>1)</sup> so vorzustellen hat, dass mehr oder weniger grosse muldenförmige Vertiefungen eines felsigen oder stark hygroskopischen Bodens die Behälter und Strombetten unterirdischer Wasseransammlungen bilden, die von einer Schicht Alluvium, der Bodenoberfläche der Oase, bedeckt sind, und im Frühjahr, in Folge der Schneeschmelze auf den centralen Gebirgszügen Mittelfrikas anschwellen. Der Einfluss dieser subterranean Gewässer auf die Durchfeuchtung des darüber gelegenen Bodens ist so gross, dass selbst der zwischen den einzelnen Oasen gelegene sandige Boden während des Frühljahrs in grüne Weide verwandelt wird.

---

1) HIRSCH, Historisch-geographische Pathologie. I. Bd. II. Aufl. S. 192; siehe auch ZITTEL, Lybische Wüste.

Unter denselben Verhältnissen soll nach ARMIEUX Malaria an einzelnen Punkten Spaniens und Griechenlands vorkommen.

#### *6. Beziehung des Grundwassers zu oberflächlichen Gerinnen.*

Die oberflächlichen Gerinne, die aus den Bergen stammen, geben mitunter auf ihrem Laufe Wasser an den Untergrund ab, das so dem Grundwasser zu Gute kommt. Es gibt derartige Gerinne, deren Bett sich in einem lockeren, für Wasser durchlässigen Terrain befindet, die jedoch nicht als Recipienten oder Abflusswege des Grundwassers zu betrachten sind, sondern nur als oberflächliche Abflüsse oder als Ueberläufe von Wasseransammlungen (Seen). Deren Niveau und selbst die Sohle liegt dann meist weit über dem Niveau des Grundwassers. Derartige Beispiele finden wir sehr häufig auf Hochebenen, in Gebirgsgegenden, wo die Wässer in offenen Gerinnen abfließen. Es kommt diese Erscheinung dadurch zu Stande, dass in einem Terraineinschnitt der Grundwasserspiegel im durchlässigen Terrain blossgelegt ist und das hierauf folgende Gefälle des Grundwassers grösser ist als das Gefälle des durch den Einschnitt gebildeten Wasserlaufs. So fällt der Wasserspiegel der Würm, welche den Abfluss des Starnberger Sees bildet, ungefähr 8 Km. vom See entfernt, mit dem benachbarten Grundwasserspiegel in eine Ebene. Das Grundwasser fällt jedoch in seinem weiteren Verlaufe auf dieselbe Länge mehr als der Würmspiegel, so dass schon in Pasing (11,5 Km. von München) der Würmspiegel 7 Meter über dem Grundwasserspiegel liegt<sup>1)</sup>. Es ist auch annähernd der auf diese Weise eingetretene Wasserverlust bestimmt worden.

Am Ausflusse der Würm aus dem Starnberger See führte die Würm (6. Juli 1876) 6,72 Cbm. ab; dieses Quantum vermehrt sich noch bis Gauting auf 7,34 Cbm. durch das unterirdisch zufließende Grundwasser in dem Moos am nördlichen Seeende und durch die sichtbar auftretenden Quellen im Mühthaldetal. Bei Pasing dagegen (10,7 Km. von Gauting) hatte sich dieses Quantum auf 5,9 Cbm., also um 12,2 % gegenüber der Wassermenge am Seeausfluss und gar um 19,6 % gegenüber der Wassermenge bei Gauting vermindert. Auf diese Weise kann es schliesslich zum vollständigen Verschwinden eines derartigen Wasserlaufs kommen, indem er seinen Wasserreichtum allmählich vollständig an das Grundwasser abgibt (Hachinger Bach).

In Sicilien findet man nach IRVINE viele Flussbetten, welche im Sommer vollkommen trocken gelegt werden, die sogenannten Fiu-

---

1) A. THIEM, Die Wasserversorgung der Stadt München (Vorproject).



maren, und in deren Umgegend Malaria endemisch herrscht; die Untersuchung hat nun gezeigt, dass sich im oberen Strombett ein kleiner Bach findet, der plötzlich im Sande zu versiegen scheint, in der That aber, nachdem er den Boden durchdrungen, unterhalb des Strombetts seinen Weg fortsetzt. Dies gilt unter Anderem von der grossen Fiumare, welche längs des nördlichen Theils von Messina verläuft, im Sommer ebenfalls ganz trocken erscheint, sich jedoch, wenn man nur 1—2 Fuss tief gräbt, schnell mit frischem Wasser füllt. Dieselbe Bewandniss hat es wahrscheinlich mit jenen anscheinend trockenen Malariaorten Sardiniens, deren unter dem Fusstritt zitternder Boden (von den Bewohnern daher Tremulo genannt) das nahe Grundwasser verräth <sup>1)</sup>.

Es ist jedoch wichtig, sich über die Grösse dieses Einflusses auf das Grundwasser klar zu werden, meist sind die Verluste, die diese Gerinne erleiden, im Verhältniss zu der ungeheuren Masse des Grundwassers so gering, dass ihr Einfluss nicht merklich ist. Nach Messungen an der Leitha (11. Mai 1863) verlor dieselbe auf ihrem Wege von Lanzenkirchen nach Zillingsdorf (ca. 13,3 Km.) folgende Wassermengen <sup>2)</sup>:

	Entfernung in Km.	Wassermenge in Cbm.	Verlust
Lanzenkirchen . . .	—	1 991 950	—
Neustadt . . .	6,4	1 080 900	911 050 = 45,7 %
Zillingsdorf . . .	8,9	954 000	126 900 = 11,7 % der früheren.
Summa	15,3	—	1 037 950 = 52 %

Trotz dieses grossen Verlustes, der an diesem Tage mehr als die Hälfte der Wassermenge der Leitha betrug, die auf dem Wege noch etwa sich beimengenden Zuflüsse nicht mitgerechnet, haben die grossen Tiefquellen den Zuwachs nicht empfunden und zeigten keine wesentlichen Veränderungen, auch nachdem im Juni das Leithabett ganz trocken geworden war.

Auch aus einem anderen Grunde noch erklärt sich der geringe Einfluss, den die oberflächlichen Gerinne auf das Grundwasser nehmen. Das Bett derselben nimmt mit der Zeit, selbst wenn es ursprünglich in einem vollkommen durchlässigen Material gegraben war, einen undurchlässigen Charakter an, indem es allmählich verschlammt und verkiest wird. So erklärt es sich, dass in München, wo ein Netz oberflächlich gelegener, im Kies fliessender Stadtbäche die Stadt durchzieht, diese auf den Grundwasserstand keinen Einfluss üben,

1) HIRSCH, Historisch-geographische Pathologie. I. S. 192.

2) Bericht über die Erhebungen der Wiener Wasserversorgungscommission.

weder in quantitativer, noch in qualitativer Beziehung. In quantitativer Beziehung insofern nicht, als bei der sogenannten Bachauskehr, dem Zeitpunkte, wo behufs Reinigung des Bachbetts das Wasser nicht in die Stadtbäche geleitet wird, keine Verminderung, kein Sinken des Grundwasserstandes beobachtet wird. Das Fehlen einer Einwirkung in qualitativer Beziehung wird dadurch ersichtlich, dass Brunnen, die in unmittelbarer Nähe der ziemlich verunreinigten Stadtbäche sich befinden, in ihrer chemischen Zusammensetzung keine Anhaltspunkte dafür geben, dass ihnen Wasser aus denselben in erheblicher Quantität beigemischt wäre.

PETTENKOFER<sup>1)</sup> führt aus dem Würmgebiet noch einige interessante Beobachtungen an:

In Planegg (11,5 Km. von München), unmittelbar an der Würm, kaum 100 Schritte von derselben, befindet sich ein Lagerkeller, dessen Sohle, trotzdem sie mehr als 20' unter dem Spiegel des Flusses liegt, doch stets trocken war. Von 1850 an begann sich jedoch in demselben Wasser zu zeigen, bis es vom October 1852 bis zum Januar 1853 mehrere Zoll hoch stand und im Sommer und Herbst den höchsten Stand erreichte (am 7. September 14' 8"). Abgesehen nun davon, dass dieses Grundwasser in dieser Zeit ziemlich anhaltend gestiegen war, während die Würm sowohl im Sommer 1852 als auch im Frühjahr 1853 nach relativ hohem Wasserstande wieder gefallen war, war auch in dem betreffenden Jahr 1853 der höchste Stand im Keller erst eingetreten als die Würm von ihrem allerdings auch in diesem Jahr erreichten höchsten Stande wieder durch 2 Monate im Absinken begriffen war. Wenn nun auch naturgemäss eine Infiltration des umgebenden Erdreichs allmählich erfolgen musste und also der Wasserstand im Keller in seinen Schwankungen dem der Würm nachgehen musste, so hätte doch bei der geringen Entfernung die Zeitdifferenz im Eintritt des höchsten Standes höchstens einige Tage betragen dürfen. Dass aber nicht etwa locale Zufälligkeiten hierfür bestimmend gewesen sind, zeigte ein zweites Beispiel an demselben Flusse, ungefähr  $\frac{1}{2}$  Stunde flussaufwärts, wo ein nur kaum 50 Schritte von der Würm entfernter Keller zur selben Zeit dieselben Erscheinungen darbot. Auch der Umstand, dass die Schwankungen der Würm im Maximum ca. 5', die des Grundwassers in den Kellern dagegen ungefähr 30' betrugen, spricht gegen die Annahme einer grossen Beeinflussung der letzteren durch die Würm.

### *7. Beziehungen des Grundwassers zu Flüssen.*

Es ist hier am Platze auch die Beziehungen zu erwähnen, die zwischen dem Stande und der Strömung des Grundwassers und denen der Flüsse im Allgemeinen, insbesondere der grösseren Flüsse, be-

1) Hauptbericht über die Choleraepidemie des Jahres 1854 im Königreiche Bayern. München 1857. S. 345.

stehen. Durch längere Zeit wurde an der Anschauung festgehalten, dass die Flüsse in Folge der Durchlässigkeit ihres Bettes Wasser an den Untergrund abgeben, dass dieses unter dem Begriff Seihwasser sich abwärts und seitlich in den Untergrund infiltrirt. E. SUESS<sup>1)</sup> spricht sich über dieses Verhältniss zwischen Grund- und Flusswasser folgendermaassen aus: Man begnügt sich damit, einen Fluss als die Vereinigung einer grösseren oder geringeren Anzahl von kleineren Flüssen, von Bächen und Quellen anzusehen, welche ihr Wasser in einem gemeinsamen Bette fortwälzen; man betrachtet den Wasserlauf lediglich als eine Erscheinung der Erdoberfläche, ohne zu bedenken, dass wenn er wirklich nur der Oberfläche angehören würde, nothwendiger Weise jeder Niederschlag der Atmosphäre, welcher sein Becken trifft, sofort abfliessen und daher jeder Fluss zur Thau- und Regenzeit noch viel grössere Anschwellungen zeigen müsste, als er ohnehin zeigt, während in der trockenen Jahreszeit selbst das grösste Flussbett nahezu trocken sein müsste. Der bedeutende Grad von Beständigkeit, welchen die meisten Flüsse in ihrer Wassermenge zeigen, beweist aber, dass die Erscheinung keine so einfache sei. Die wahre Ursache dieser Beständigkeit erhellt aus Folgendem:

Nur in seltenen Ausnahmefällen gräbt sich ein Fluss sein Bett der ganzen Länge nach in wasserdichten Boden, z. B. im plastiischen Thon. In solchen seltenen Fällen, welche überhaupt nur bei kleineren Flusslinien bekannt sind, ist allerdings der ganze Wasserlauf eine Erscheinung der Oberfläche und treten wirklich jene oben erwähnten grossen Schwankungen auf. Bei Weitem die Mehrzahl der Flüsse ist aber wenigstens durch einen grossen Theil ihres Laufes begleitet von einem bald breiteren, bald schmäleren Streifen von losen Aufschüttungen, den sogenannten Alluvien des Flusses; nicht selten sind die älteren Schichten, an welche sich die Alluvien anschmiegen, ebenfalls von losen Gesteinen, z. B. von Sand oder Geröllen, gebildet. Dann ist aber Wasser nicht nur in der sichtbaren Flussrinne, sondern auch in den Alluvien und den dieselben begrenzenden Schichten enthalten, und zwar ist der Boden zu beiden Seiten des Flusses bis zu einem Niveau mit Wasser angefüllt, das in gewisser Beziehung zum Wasserstande im Flusse selbst steht. Diese grossen unterirdischen Wassermengen nennen wir mit dem von PETTENKOFER in München in Gebrauch gesetzten Namen Grundwasser.

Das Grundwasser bildet sich durch alle jene Niederschläge, welche in den losen Boden eindringen, und, ohne an der Oberfläche

---

2) E. SUESS, Ueber den Lauf der Donau. Oesterr. Revue. 1866.

zu sichtbaren Wasserfäden gesammelt zu werden, unterirdisch dem Flusse zuströmen. Da nun dieses Zuströmen durch die Zwischenräume des losen Bodens unverhältnissmässig viel langsamer vor sich geht als in offener Rinne, und Verzögerungen von Wochen und Monaten eintreten können zwischen dem Niederfall eines Wassertropfens auf durchlassenden Boden und seinem Eintritt in den Fluss, bildet der Abfluss des Grundwassers grossartige Compensationsapparate, welche während der nassen Jahreszeit grosse Mengen von Feuchtigkeit zurückhalten und dafür während der Dürre fortfahren den Fluss zu speisen.

Das Niveau, bis zu welchem sich unterirdisch der Spiegel des Grundwassers erhebt, kann in der Regel nicht tiefer liegen als der mittlere Wasserstand des Flusses, weil sonst eindringendes Flusswasser den Boden bis zu diesem Niveau anfüllen würde. Man findet im Gegentheil, dass wo immer noch genaue Nivellements von Wasserspiegeln in Brunnen angestellt worden sind, sich ein stetiges Ansteigen dieses unterirdischen Wasserspiegels landeinwärts gezeigt hat.

Dieses Ansteigen des Grundwasserspiegels vom Flusse aufwärts ist wohl der sprechendste Beleg dafür, dass das Grundwasser den Flüssen zuströmt, diese speisend, nicht umgekehrt (vgl. S. 259 und Cap. III).

Jedoch ganz ohne Einfluss und ohne Rückwirkung auf das Grundwasser erscheinen die Flüsse nicht. Die Schlussfolgerungen, die SUESS an die Schwankungen in der Härte des Wassers in Wien knüpft, führen bereits zur Annahme einer Einsickerung von Flusswasser in die lockeren Bodenschichten zu beiden Seiten des Flusses. Er charakterisirt diesen Zustand in folgender Weise:

Wo das Bett eines Flusses aus durchlassenden Schichten, z. B. aus Schotter, gebildet ist, sickert das Wasser in grosser Menge in den Boden und breitet sich in demselben weit aus. Auf diese Weise entsteht unterirdisch eine Schicht von Feuchtigkeit, deren untere Fläche von der Oberfläche des nächsten wasserdichten Stratum gebildet wird, während die obere Fläche abhängig ist von dem Wasserstande des Flusses; so sucht sich auch das Wasser der Donau aller Orten unter den durchlassenden Schichten der Alluvionen, sowie der diluvialen Massen des Donauostrandes auszubreiten, und reichen die Brunnen in diesem Gebiete nur etwa ins Niveau des Flusses, ihr Wasserstand ist von dem der Donau unabhängig.

Wir haben diese zwiefachen und scheinbar gegensätzlichen Beziehungen der Flüsse zum Grundwasser auf die Lagerung des Flussbettes mit Rücksicht auf die wasserführenden und undurchlässigen Schichten zurückzuführen.



1. Dort, wo das Flussbett sich innerhalb des durchlässigen Bodens befindet, hoch über der undurchdringlichen, wassertragenden Schicht (Berlin Cap. III, Bremen) oder nur eben auf dieser letzteren aufruhend (Wien Cap. III), ändern sich die Drainageverhältnisse des Bodens mit jeder Aenderung des Flussniveaus. Die Höhe des im Boden befindlichen Wassers wird natürlich abhängig sein von der Höhe, in welcher sich der Abfluss befindet, steigt dieser letztere, so muss auch die Höhe des Wasserniveaus im Boden zunehmen, und umgekehrt. Nun erfolgt aber der Abfluss des Grundwassers in diesem Falle in einer Ebene, welche mit der Ebene der Flussoberfläche zusammenfällt, da der Fluss hier als der tiefste Punkt der Drainage aufzufassen ist, und welche demnach sich mit dem Ansteigen des Flusses erhebt, mit dem Abschwellen erniedrigt. Steigt das Flussniveau, so wird zunächst so lange Wasser von Seite des Flusses in den Boden einsickern, bis das Grundwasser so weit gestiegen ist, dass dessen Niveau das Flussniveau wieder um jene Höhe überragt, die nöthig ist, um den Widerstand im Boden zu überwinden und das Wasser in Bewegung zu bringen. Sinkt nun wieder das Flussniveau, so vertieft sich damit gewissermaassen die Drainage und der Abfluss des Grundwassers wird beschleunigt, und das Grundwasser fällt so lange, bis wieder das Gleichgewicht zwischen Höhe des Grundwassers einerseits und Reibung und Tiefe des drainirenden Flussbettes andererseits hergestellt ist. So ist in Wien (Cap. III, Fig. 37) der Grundwasserspiegel im Donaudistrikt sehr bedeutenden Schwankungen ausgesetzt, welche in erster Reihe durch die jeweiligen Wasserstände des Donautromes und Donaukanales bedingt sind <sup>1)</sup>, und in Berlin (Cap. III, Fig. 34) und Bremen documentirt sich der Einfluss der steigenden und fallenden Spree dadurch, dass ihr Steigen ein Anstauen und ihr Sinken ein beschleunigtes Abfliessen, und somit ebenfalls ein Sinken der Zuflüsse, von der Mündung an abnehmend, verursacht, und dass der Rhythmus in den Schwankungen sowohl des Flusses als auch des Grundwassers ein nahezu identischer ist <sup>2)</sup> (vergl. Fig. 35).

2. Der zweite, entgegengesetzte Fall tritt ein, wenn das Flussbett tief in die undurchlässige Schicht einschneidet, so dass die impermeable Schicht in nicht unbedeutender Höhe demselben seitlich überlagert erscheint (München Fig. 20 e). Da erfolgt der Abfluss so

---

1) Resultate der Beobachtungen über die Grundwasserstände u. s. w. in Wien. 1886. — 2) Reinigung und Entwässerung Berlins. XIII. — LOSSEN, Der Boden der Stadt Berlin. — SOYKA, Die Grundwasserschwankungen in Berlin und München nach ihren klimatolog. und epidemiolog. Beziehungen. Berl. Naturforschervers. 1886. — Idem, Ueber Grundwasserschwankungen und ihre Ursachen. Wien 1887.

hoch über dem Flussniveau, dass der letztere denselben gar nicht zu erreichen, geschweige denn höher zu legen vermag, und es müssen deshalb die Schwankungen des Flussniveaus ohne Einfluss auf das Grundwasserniveau sein.

Im Gegensatz zu Berlin und Wien haben denn auch die Veränderungen, die sich im Laufe der Zeit an dem Flussbett der Isar herausgebildet haben, auf das Grundwasser in München keinen merklichen Einfluss gehabt. Mehrjährige Erfahrungen beweisen, dass in München bereits in geringer Entfernung von der Isar das Grundwasser von dieser nicht direct und merklich beeinflusst wird. In den Monaten Juli und August 1858 schwoll die Isar mehrmals bis zu 10' über den 0 Pegel an und überschwemmte schon die Niederungen an ihren Ufern, aber der Stand der Brunnen hob sich kaum um 1 Zoll <sup>1)</sup>.

Die innerhalb der Zeitperiode 1873—1875 ausgeführten Flussbauten haben ferner eine Aenderung des Isarflussbetts hervorgerufen, die sich sehr merklich im rechten Isararme und im Hauptarme flussabwärts ausdrückt, so dass sie Unterschiede und Veränderungen in der Sohle des Flussbetts bis zu 1,5 Meter ergeben haben, die in der neueren Zeit noch zugenommen und mehr als 2 Meter bereits erreicht haben. In Folge der durch die Regulirung herbeigeführten Verengung des Flussbetts wurde dieses allmählich derart vertieft, das Wasserniveau also derart herabgesenkt. Vergleicht man mit diesem Befunde die Schwankungen des Grundwassers in jenen Theilen des Stadtbezirks, die eben ausserhalb des Bereichs der Isarschwankungen sich befinden, so sieht man, dass hier keine derartige allmähliche Abnahme des Niveaus eingetreten ist.

Vergleichen wir die mittleren Wasserstände der Isar und des Grundwassers in München, und zwar nur die jährlichen Schwankungen, so tritt dies aufs Deutlichste hervor. Als Vergleichsobject dient der Grundwasserspiegel des Brunnens im physiologischen Institut in München, an einer Stelle, ca. 1500 Meter westlich von der Isar entfernt, auf der mit *B* bezeichneten Terrasse des Profils Fig. 20 bereits nahe der Hochfläche *AA*, 521,28 Meter über dem Meerespiegel, während der 0 Punkt des Isarpegels, des Bogenhauser Pegels, sich 504,234 Meter über dem Spiegel des adriatischen Meeres befindet.

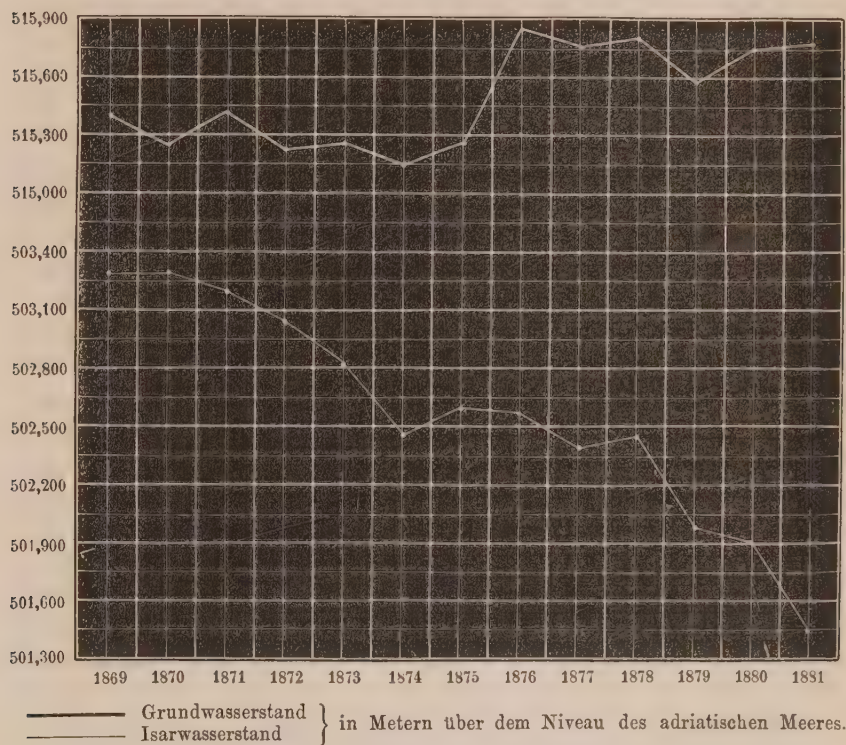
Wenn wir nun die mittleren jährlichen Isarwasserstände und die mittleren Grundwasserstände in der Weise darstellen, dass sie uns die Höhe des betreffenden Wasserniveaus über dem adriatischen Meere angeben, so erhalten wir:

1) PETTENKOFER, 5 Fragen aus der Aetiologie der Cholera. Pappenheim's Monatsschrift für exacte Forschungen. 1859.

	1869	1870	1871	1872	1873	1874	1875	1876	1877	1878	1879	1880	1881
Mittlerer Wasserstand d. Isar über dem adriat. Meere (Jahresdurchschn.)	503,28	503,28	503,19	503,04	502,82	502,46	502,60	502,57	502,40	502,45	501,98	501,91	501,44
Mittlerer Grundwasserstand im physiolog. Institut üb. d. adriat. Meere (Jahresdurchschn.)	515,39	515,22	515,40	515,22	515,25	515,15	515,26	515,85	515,76	515,81	515,58	515,75	515,78

Fig. 28.

## Grund- und Isarwasserstand in München.



Das Niveau des Grundwasserstandes ist in München an dieser Stelle (1,5 Km. von dem Isarpegel) im Jahre 1869 um 12,1 Meter höher als das der Isar; während nun in den späteren Jahren nur unbedeutende Schwankungen auftreten und erst im Jahre 1875 ein etwas stärkeres und andauerndes Ansteigen des Grundwasserniveaus sich etabliert (mit einer Amplitude von ca. 0,7 Meter), zeigt dagegen der Isarwasserspiegel ein fast kontinuierliches und viel rascheres Absinken, um 1,84 Meter, so dass 1881 das Grundwasserniveau 14,3 Meter



höher ist als das Isarniveau. Das Niveau des Grundwassers hat sich, anstatt abzusinken, noch erhöht, und zwar absolut und relativ (relativ gegenüber der Isar um 2,2 Meter). 1869 floss das Grundwasser an bezeichneter Stelle 505,39 Meter über dem adriatischen Meere ab, 1881 515,78 Meter, 1869 die Isar 503,28 Meter, 1881 dagegen nur noch 501,44 Meter über dem adriatischen Meere.

Noch in einer anderen Weise, auf Grund der qualitativen und quantitativen chemischen Zusammensetzung, lässt sich mitunter ein Schluss ziehen auf die Selbstständigkeit des Grundwassers gegenüber dem Flusswasser, auf die Unabhängigkeit desselben vom letzteren. SUESS<sup>1)</sup> schon fand, dass die Härte der Brunnenwässer im Donaubezirk überall eine höhere ist als die des Donauwassers. Diese grössere Härte kann nun weder durch den Alluvialschotter des Alluvialgebiets der Donau, der fast ausschliesslich aus Quarzgeschieben und Geschieben von krystallinischen Felsarten besteht, noch aus dem aus Sandstein bestehenden Diluvialschotter des übrigen Theils des Donaubezirks herkommen, und nur durch die anderweitigen Quellen dieser Wasserschicht, nämlich durch die directen atmosphärischen Niederschläge oder durch die längs des Randes des Donaubezirks in denselben mündenden Sickerwässer des Hochbezirks oder durch das Hinzutreten anderer härterer Infiltrationswässer herbeigeführt werden, so dass also die Härte des Brunnenwassers des Donaubezirks durch dem Flusse zuströmende Grundwässer veranlasst wird, und hiermit abermals die Unabhängigkeit von Flusswasser documentirt wird; erst dort, wo wirklich Wasser vom Flusse her in den Boden versickert und sich mit dem Grundwasser vermischt, tritt eine Verminderung der Härte ein.

So bildet denn das Grundwasser ein unterirdisches, mächtiges Reservoir, den Seen der Gebirgsflüsse vergleichbar, welches dazu beiträgt, unsere Flüsse zu speisen und ihren Wasserstand zu reguliren und in einer gewissen Gleichmässigkeit zu erhalten.

#### 8. *Beziehungen des Grundwassers zum atmosphärischen Wasser (Niederschlag und Verdunstung).*

Schwankungen der Niederschläge und des Grundwassers<sup>2)</sup>.

Der Einfluss der Niederschläge auf das Grundwasser ist zum Theil schon erörtert worden. Die Erkenntniss dieses Einflusses jedoch, so unbestreitbar er nach diesen Untersuchungen auch ist, wird

1) Der Boden der Stadt Wien.

2) SOYKA, Ueber Grundwasserschwankungen und ihre Ursachen. Geographische Abhandlungen, herausgegeben von A. PENCK. Wien 1887.



mitunter erschwert durch die combinirte Wirkung der verschiedenen anderen mitwirkenden Factoren. Der Umstand, dass die Niederschläge meist einen gewissen rhythmischen, an die Jahreszeiten gebundenen Verlauf darbieten, deren Wirkung aber vielfach nicht unmittelbar hervortritt, sondern erst nach Ablauf einer Zeit zur Geltung kommt, dass ferner die anderen Factoren diese unmittelbare Wirkung compensiren können, lässt vielfach den Zusammenhang verkennen, und wir können zahlreiche Beispiele anführen, dass Niederschlag und Grundwasserstand keinerlei Uebereinstimmung in ihrem Rhythmus zeigen.

In München stiegen z. B. die jährlichen Regenmengen von 1857 bis 1860 und fielen 1861 nahezu wieder auf den Stand des Jahres 1858 zurück, das Grundwasser fiel aber bis zum Jahre 1857, blieb 1858 nahezu auf gleicher Höhe, stieg aber beträchtlich nicht blos bis 1860, sondern bis 1861, wo es bedeutend höher stand als 1860, während die Niederschläge von 1860—61 sich umgekehrt verhielten<sup>1)</sup>. In Berlin (Fig. 29) und Bremen erreichen die Niederschläge ihre grösste Stärke in den Sommermonaten (Juli bis August), das Grundwasser hat dagegen seinen höchsten Stand im Frühjahr (April), und in Prag waren nach J. SCHÜTZ<sup>2)</sup> die so massenhaften Niederschläge des Monats Mai 1872 fast ganz ohne Einfluss auf die Höhe des regelmässigen Messungen unterworfenen Grundwasserstandes; auch noch im Juni zeigten sich unbedeutende Schwankungen, die Anfangs Juli ihren immer noch relativ niedrigen Culminationspunkt erreichten, dagegen begann im Monat August 1872 trotz der vorausgegangenen enormen Hitze, trotz der verhältnissmässig geringen atmosphärischen Niederschläge ein Ansteigen des Grundwasserniveaus, das rasch und stetig bis in die Hälfte des Monats September anhielt.

Dieser scheinbare Widerspruch hat mitunter zur Aufstellung ganz eigenthümlicher Hypothesen über die Entstehung des Grundwassers geführt, wie die von VOLGER<sup>3)</sup>, der als Ursache der Bildung von Quellen und somit auch von Grundwasser die Condensation des in der Luft vorhandenen Wasserdampfes hinstellt. Indem die mit Wasserdampf beladene atmosphärische Luft in den kühlen Boden eintritt, wird ihre Temperatur daselbst erniedrigt, und muss sie in Folge dessen Wasser abgeben. Es wurde bereits S. 222 ff. der Condensation von Wasserdampf im Boden ge-

1) PETTENKOFER, Ueber die Schwankungen der Typhussterblichkeit in München von 1856—1867. Zeitschrift f. Biologie. IV. — BUHL, Ein Beitrag zur Aetiologie des Typhus. Ibidem. I.

2) J. SCHÜTZ, Grundwasser und Cholerabewegung in Prag 1873. Deutsche Zeitschrift f. pract. Medicin. 1874.

3) VOLGER, Die wissenschaftliche Lösung der Wasser-, insbesondere der Quellfrage. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure. XXI. 1877.

	4' über der Ober- fläche	An der Ober- fläche	Unter der Oberfläche in einer Tiefe von					Unterschied der Wärme der Luft und der Oberfläche des Bodens in der Tiefe von				
			1'	2'	3'	4'	5'	1'	2'	3'	4'	5'
Januar . . . . .	0,69	0,78	1,71	2,43	3,46	4,19	5,14	— 1,02	— 1,74	— 2,77	— 3,50	— 4,45
Februar . . . . .	— 0,18	— 0,09	1,34	1,98	2,92	3,56	4,40	— 1,52	— 2,16	— 3,10	— 3,74	— 4,58
März . . . . .	2,46	2,06	2,20	2,49	3,13	3,64	4,25	— 0,26	— 0,03	— 0,67	— 1,18	— 1,79
April . . . . .	6,62	6,11	5,25	5,02	5,04	5,15	5,24	+ 1,37	+ 1,60	+ 1,58	+ 1,47	+ 1,38
Mai . . . . .	11,34	10,27	8,26	7,95	8,10	7,19	6,96	+ 3,08	+ 3,39	+ 3,24	+ 4,15	+ 4,38
Juni . . . . .	14,59	13,11	11,73	10,85	10,04	9,63	9,04	+ 2,86	+ 3,74	+ 4,55	+ 4,96	+ 5,54
Juli . . . . .	17,04	15,72	14,29	13,30	12,46	10,93	10,34	+ 2,75	+ 3,74	+ 4,58	+ 6,11	+ 6,70
August . . . . .	15,04	14,08	13,05	12,58	11,99	11,76	11,22	+ 1,99	+ 2,46	+ 3,05	+ 3,28	+ 3,82
September . . . . .	11,81	11,34	11,04	11,40	11,32	11,57	11,25	+ 0,77	+ 0,41	+ 0,49	+ 0,24	+ 0,56
October . . . . .	8,51	8,12	8,78	9,20	9,54	9,91	10,10	— 0,27	— 0,69	— 1,03	— 1,40	— 1,49
November . . . . .	2,10	2,34	4,19	5,25	6,48	7,54	8,28	— 2,09	— 3,15	— 4,38	— 5,44	— 6,18
December . . . . .	0,45	0,75	2,18	3,09	4,28	5,14	6,31	— 1,70	— 2,61	— 3,80	— 4,66	— 5,83

dacht und derselben eine nicht unwichtige Rolle zugeschrieben, und wollen wir deshalb auf diese Frage etwas näher eingehen.

Die gesammte Theorie stützt sich zuvörderst auf die Temperaturdifferenzen, die sich zwischen Bodenluft und atmosphärischer Luft vorfinden; es ist selbstverständlich, dass nur dann, wenn der Boden eine niedrigere Temperatur besitzt als die atmosphärische Luft, eine Condensation stattfinden kann, im anderen Falle wird sogar der Boden wasserärmer werden, da die kältere Luft im feuchten Boden erwärmt wird und hierdurch ihre Wassercapacität sich vermehrt.

Ein Vergleich der mittleren monatlichen Boden- und Lufttemperaturen zeigt nun, dass es sehr wenige Monate sind, in welchen die mittlere Lufttemperatur die des Bodens bedeutend überragt. (Von der obersten Bodenschicht = 0,00 Meter Tiefe, sei hier abgesehen, da sie, mit Rücksicht auf die Quantitäten des Wassers, um die es sich handelt, kaum in Betracht kommen kann.) Im 12jährigen Durchschnitt der Jahre 1852 — 63 von Berlin <sup>1)</sup> sind es die Monate April bis September, in denen überhaupt das Monatsmittel der Lufttemperatur das der Bodentemperatur übertrifft (vgl. nebenstehende Tabelle. Die Differenzen, bei denen die Bodentemperatur die der Luft übertrifft, haben ein negatives Vorzeichen). Mit diesen Schwankungen in den Temperaturdifferenzen stimmen nun die Schwankungen der Quellen resp. des Grundwassers gar nicht überein. Der höchste Grundwasserstand tritt in Berlin in den

1) Dove, Die Witterungserscheinungen des nördlichen Deutschlands. Preuss. Statistik. 1864.

Frühjahrsmonaten ein, zu einer Zeit, wo die mittlere Bodentemperatur noch höher ist als die der Luft, und der niedrigste Grundwasserstand im Anfange des Herbstes (October), wenn die Bodentemperatur noch niedriger ist als die Lufttemperatur, also Gelegenheit zur Condensation gegeben ist. Nach den Lysimeterbeobachtungen ferner fliessen gerade in den Wintermonaten, wo also keine Condensation im Boden stattfinden kann, die grössten Wassermengen ab, die geringsten dagegen im Sommer.

Wenn das Eindringen der atmosphärischen Luft in den Boden die Ursache der Quellbildung sein sollte, so müssten wir nach obigem Vergleich von der kälteren Jahreszeit, wo der Boden in den tieferen Schichten wärmer ist als die zugeführte Luft und keine Thaubildung erfolgen kann, ganz absehen; für die Quellenbildung während der wärmeren Jahreszeit würden dann nach WOLLNY<sup>1)</sup> die Erdschichten von ca. 1 Meter Tiefe und abwärts hauptsächlich in Betracht kommen, da in diesen erst die täglichen Temperaturschwankungen aufhören. In dieser Tiefe beträgt die Temperatur ungefähr 10° im Sommer. Nimmt man eine mittlere Temperatur der Luft von 20° C., so enthält die mit Wasserdampf gesättigte Luft in 1 Cbm. 17,3 Grm.; bei 10° kann dieselbe jedoch nur 9,7 Grm. fassen. 1 Cbm. mit Wasserdampf gesättigter Luft von 20° C. kann also durch die Abkühlung auf 10° 7,6 Grm. Wasser abgeben. Während der Sommermonate Mai bis incl. September sickern bei mittlerer Beschaffenheit des Bodens in 1 Meter Tiefe und 1 □ Meter Oberfläche ca. 69000 Grm. ab; hierfür wären also innerhalb 150 Tagen 9079 Cbm. Luft und pro Tag ca. 60,7 Cbm. Rechnet man, dass während der Nacht das Eindringen der Luft hauptsächlich erfolge, und dass dies innerhalb 10 Stunden geschehe, so müssten in jeder Minute ca. 0,1 Cbm. Luft bis zur Tiefe von 1 Meter eindringen, um nach dieser Hypothese die durch den Boden sickende Wassermenge zu erklären. Für die Existenz einer solchen Luftbewegung haben wir aber keinerlei Anhaltspunkte, es fehlt auch die Kraft, die geeignet wäre, hierfür als Motor zu dienen.

Endlich macht auch HANN<sup>2)</sup> darauf aufmerksam, dass die Condensation einer so grossen Menge Wasserdampfes, wie sie bei einer ausschliesslichen Quellbildung durch dieselbe erforderlich wäre, zur Entbindung von derartigen Wärmemengen führen würde, dass hierdurch die Temperatur des Bodens bald so weit gesteigert würde, dass keine Condensation mehr eintreten könnte.

Der Grund, warum aber der Einfluss der Niederschläge sich im

1) Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. II.

2) Zeitschrift der österr. Gesellschaft f. Meteorologie. XV. 1880.



Grundwasser nicht immer direct aussprechen kann, liegt theils in den Verhältnissen des Niederschlags selbst, theils in der Mitwirkung anderer meteorischer Factoren.

Die Niederschläge, welche auf die Oberfläche gelangen, zerfallen im Allgemeinen in drei scharf zu trennende Gruppen:

1. Jene, die die Erde anfeuchten und allmählich durch Verdunstung des unbebauten Bodens oder durch die ihn bedeckenden Pflanzen wieder der Atmosphäre zurückgegeben werden.

2. Jene, die, nachdem sie in die Erde gelangt, den beiden eben bezeichneten Arten der Verdunstung entgehen und sich langsam durch Abtropfen in die unterirdischen Kanäle begeben, um die Quellen zu nähren. Man könnte hier noch jenen Theil hinzufügen, der in dem Bette der fließenden Gewässer durch Spalten in den Boden gelangt, um gleichfalls unterirdische Wasserreservoirs zu speisen und sodann in Form von Quellen an tiefer gelegenen Punkten zu Tage zu kommen.

3. Jene, die auf einen Boden fallen, der entweder bereits gesättigt oder zu stark geneigt oder zu glatt und compact ist und die deshalb an der Oberfläche herabfließen und sich unmittelbar in die Thalwege begeben. Dieser Theil des Regens wirkt oft sehr verderblich durch die Aushöhlungen und Ueberschwemmungen, die er hervorbringt.

Es wird nun vielfach angenommen, dass  $\frac{1}{3}$  oberflächlich abläuft,  $\frac{1}{3}$  verdunstet,  $\frac{1}{3}$  in den Boden einsickert. Für die obigen Berechnungen der Abflussmenge der Flüsse würden also  $\frac{2}{3}$  des Regensfalls zur Verfügung stehen, für das Grundwasser an einer beschränkteren Localität nur  $\frac{1}{3}$ . Diese Zahlenangaben sind aber recht willkürliche. In Wirklichkeit lässt sich überhaupt ein allgemeines Zahlenverhältniss bisher gar nicht aufstellen, weil dieser Vorgang von zu vielen unter einander verknüpften, mit einander sich combinirenden Factoren abhängig ist, als da sind: die Mächtigkeit der permeablen Schicht, die Beschaffenheit der Oberfläche, ihre Configuration, ihre Bedeckung, die Vegetation, die klimatischen Verhältnissen, wie die Temperatur, Feuchtigkeit der Luft, Richtung und Intensität der Luftbewegung, ferner die Dauer und Intensität des Regens, der Wechsel zwischen Regen- und regenlosen Zeiten.

Ein grosser Theil des niederfallenden Wassers geht innerhalb eines Jahres wieder in Dampfform in die Luft, wird somit dem Boden wieder entzogen. Man hat ja eben deshalb die Möglichkeit einer Quellenbildung durch Niederschläge geleugnet, weil man von der wiederholt constatirten, meteorologischen Thatsache ausging, dass die



Verdunstungsgrösse innerhalb eines Jahres die Niederschlagsgrösse zu übertreffen vermag. Dies sehen wir wenn wir z. B. die Niederschlags- und Verdunstungshöhe von Augsburg mit einander vergleichen <sup>1)</sup>.

	Niederschlagshöhe in Millimetern	Verdunstungshöhe in Millimetern
1866 . . . .	694,3 . . . .	1162,7
1867 . . . .	813,8 . . . .	1226,3
1868 . . . .	708,7 . . . .	1351,6
1869 . . . .	734,8 . . . .	1228,1
1870 . . . .	683,8 . . . .	1328,7
1871 . . . .	842,6 . . . .	680,7
1872 . . . .	1036,8 . . . .	717,8
1873 . . . .	1066,3 . . . .	672,4
1874 . . . .	980,7 . . . .	666,2
1875 . . . .	1259,7 . . . .	705,2
1876 . . . .	1097,2 . . . .	684,9
1877 . . . .	1323,3 . . . .	643,0
1878 . . . .	1281,2 . . . .	474,2
Mittel	963,32 . . . .	887,79

In 5 Jahren ist eine viel bedeutendere Verdunstungs- als Niederschlagshöhe beobachtet worden (1870 eine nahezu doppelt so grosse). In Madrid verdunstet eine Wasserschicht von 1607 Mm., die ungefähr das 4fache des Niederschlags beträgt. In der lombardischen Ebene beträgt die Verdunstung überall nahezu das 3fache des Niederschlags. Am grössten ist sie in Rom, wo sie 2621 Mm. beträgt und die von Kairo (2296 Mm.) noch übertrifft <sup>2)</sup>.

Wenn nun diese Thatsache allgemeine Giltigkeit hätte, so müsste man in der That die Bedeutung der Niederschläge für die Quellen und Grundwasseransammlungen einschränken, wenn auch immerhin gewisse Gebiete (die Gebirgsgegenden) übrig blieben, wo sich die Verhältnisse im entgegengesetzten Sinne präsentiren. Die Zahlen für die Verdunstungsgrössen haben jedoch nur Giltigkeit bei freien Wasserflächen; sie würden also nur anzuwenden sein, wenn aller Regen, alle Niederschläge auf dem Erdboden sich ansammeln würden, ohne zu versickern und ohne oberflächlich abzufließen. Durch diese beiden Vorgänge wird jedoch der Vorgang der Verdunstung wesentlich modificirt. Wir können annehmen, dass innerhalb der Zeit, in welcher der Niederschlag zu Boden fällt, die Verdunstung cessirt,

1) BEZOLD und LANG, Beobachtungen der meteorologischen Stationen im Königreich Bayern. II.

2) TH. FISCHER, Studien über das Klima der Mittelmeerländer. Petermann's Mittheilungen. Ergänzungsheft. LVIII. 1879.

denn wenn auch FRANKLAND<sup>1)</sup> nachgewiesen hat, dass selbst während des Regens die Luft nicht mit Wasserdampf gesättigt zu sein braucht, indem die einzelnen Wasserbläschen Hüllen von Russ und Fett erhalten, so wird doch die Verdunstung eine minimale sein können. Nach Aufhören des Niederschlags wird aber das Wasser bald in den Boden eingedrungen resp. abgeflossen sein. Nun ist allerdings constatirt worden, dass der poröse Boden wegen der grösseren Oberfläche, die er der Verdunstung darbietet, mehr Wasser verdunsten lässt als eine freie Wasseroberfläche. Dieses Verhältniss ändert sich aber sehr rasch, sowie eine oberflächliche Austrocknung stattgefunden hat (S. 120), und ebenso vermindert sich die Verdunstung dadurch, dass das Wasser allmählich in die Tiefe dringt (S. 119). Gerade deshalb ist denn auch die Verdunstung von der Beschaffenheit und Intensität des Regens abhängig und ferner von den regenfreien Intervallen, von dem Wechsel zwischen Befeuchtung und Verdunstung. Je tiefer das Wasser in den Boden eindringt, wie dies bei einem, wenn auch nicht sehr heftigen, aber lange anhaltenden Regen geschieht, desto geringer wird die Verdunstungsgrösse; je weniger das Wasser in den Boden eindringt, desto weniger Zeit ist nöthig, um das Wasser wieder aus dem Boden verdunsten zu lassen; eine Regenmenge, die sich auf sehr viele kleine Niederschläge mit relativ kurzen, z. B. eintägigen Intervallen vertheilt, wird leichter vollständig verdunsten, als dieselbe Regenmenge in einem anhaltenden Niederschlag zu Boden fallend, selbst wenn dann eine sehr lange regenlose Zeit nachfolgt. Es findet diese Annahme eine wesentliche Stütze in den Untersuchungen HABERLANDT'S<sup>2)</sup> über die Verdunstung aus dem Boden bei verschiedener, künstlich imitirter Regenhöhe. Er beobachtete in Röhren, die mit einer bestimmten Bodenart angefüllt waren, die Tiefe, bis zu welcher die aufgegossene Wassersäule eingedrungen war, und bestimmte dann die Grösse und Schnelligkeit der Verdunstung (siehe die Tabelle auf folgender Seite).

Die Richtigkeit der oben aufgestellten Behauptungen erhellt aus diesen Zahlen aufs evidenteste. Je geringer der Niederschlag, je näher der Oberfläche die Flüssigkeit, desto rascher verdunstet sie, je tiefer dagegen der Regen eindringt, desto langsamer erfolgt die Verdunstung, um schliesslich fast vollständig zu cessiren. Hier ist in dieser Versuchsreihe zu berücksichtigen, dass mit einem Material gearbeitet

---

1) FRANKLAND, On dry fog. Proceedings of the Roy. Soc. of London. XXVII. 1878. 2) HABERLANDT, Wissenschaftlich practische Untersuchungen auf dem Gebiete des Pflanzenbaues. II.

wurde, das, als aus einem feinsandigen Lehmalkmergel bestehend, nur eine geringe Permeabilität für Wasser besitzt und dementsprechend das Wasser nur schwer in die Tiefe eindringen liess, dass

	Die aufgegossene Flüssigkeit entsprach einer Regenhöhe von					
	2,222 Mm.	6,667 Mm.	13,333 Mm.	26,666 Mm.	40,00 Mm.	53,33 Mm.
Eindringen der Flüssigkeit in die Tiefe in Mm. . . . .	6,67	33,3	66,7	106,7	160	206,6
Gewichtsverlust durch Verdunstung in % der aufgegossenen Flüssigkeit am	%	%	%	%	%	%
1. Tage	94,75	39,51	26,34	14,78	9,81	8,96
Weiterer Verlust am . . . 2. "	5,68	17,02	10,22	10,09	7,75	7,48
3. "	—	18,85	14,87	13,39	10,33	9,05
4. "	—	12,16	14,56	11,82	8,99	8,09
5. "	—	7,29	6,20	7,30	5,27	7,05
6. "	—	3,04	6,82	8,17	6,92	6,70
7. "	—	1,82	5,89	3,48	3,51	3,48
8. "	—	—	5,58	3,65	2,58	3,04
9. "	—	—	4,34	2,96	1,86	2,61
10. "	—	—	2,48	1,74	1,76	2,00
11. "	—	—	1,86	1,56	1,76	1,74
12. "	—	—	0,93	1,22	1,83	1,74
13. "	—	—	—	1,04	1,34	1,39
14. "	—	—	—	1,04	1,24	1,48
15. "	—	—	—	0,69	1,14	0,87
16. "	—	—	—	0,52	0,93	0,87
17. "	—	—	—	0,52	0,72	0,61
18. "	—	—	—	0,35	0,52	0,52
19. "	—	—	—	0,35	0,41	0,43
20. "	—	—	—	0,35	0,31	0,52
Nach 20 Tagen	100,43	99,69	100,09	85,02	67,98	68,63

ausserdem dieses Material entgegen den in der Natur zumeist bestehenden Verhältnissen vollständig ausgetrocknet war, wodurch ebenfalls ein tieferes Einsinken des Wassers verhindert wurde.

Sehr lehrreich sind in dieser Beziehung auch die Versuche von PFAFF<sup>1)</sup>. Von den Niederschlägen des Sommerhalbjahrs drangen nur 7 % bis auf die wasserdichte Schicht nieder, wenn die poröse Schicht nur  $\frac{1}{2}'$  dick war, hingegen 37 % wenn die Schicht 4' mächtig war; es hängt dieser Umstand offenbar auch mit der Verdunstung zusammen. In der dicken Schicht, wo sich unten Wasser ansammelte, konnte nie eine so vollständige Austrocknung des Bodens stattfinden, da die capillare Wasserleitung für eine stete Befeuchtung des Bodens

1) PFAFF, Ueber das Verhalten des atmosphär. Wassers zum Boden. Zeitschrift f. Biologie. IV. — PETTENKOFER, Ueber die Schwankungen der Typhussterblichkeit in München.

sorgte, wenn also neue Niederschläge kamen, so wurde höchstens noch eine geringe Menge derselben zurückgehalten, um die Sättigung herbeizuführen, der Ueberschuss tropfte ab. War aber der Boden vollständig ausgetrocknet, so musste eine viel grössere Menge Wasser zurückgehalten werden.

Eine Bestätigung für das Vorausgeschickte geben ferner die experimentellen Untersuchungen, die RISLER<sup>1)</sup> im Grossen auf seinen Grundstücken von 12,300 □ Metern Ausdehnung aufstellte, indem er sowohl die Regenmenge als auch die in Drainröhren abfliessenden Wasser und die Bodenfeuchtigkeit bestimmte. Bei einer Niederschlagsmenge von 815 Mm. verdunstete im Jahre 1869 der Boden 664 Mm. = ca. 81 %, dabei war aber das Jahr 1869 ein abnorm trockenes, viele Quellen versiegten und die Ernte litt an Wassermangel, und musste die Verdunstungsgrösse auch dadurch eine Steigerung erfahren, dass es sich um bebauten Boden handelte.

Die im Verein mit Lysimeterbeobachtungen (die den Zweck haben, die Wassermengen zu bestimmen, die bei auffallendem Regen durch einen Boden hindurchsickern) gewonnenen Resultate über die Verdunstung ergaben in Deutschland Schwankungen zwischen 11,7 bis 17,9 % der gefallenen Regenmenge, in England 14,9—24,3 %, wobei auch die mineralogische Beschaffenheit des Bodens eine Rolle spielt.

Jedenfalls ist daraus ersichtlich, dass der Einfluss, den die Verdunstung auf die Bodenfeuchtigkeit ausübt, auch nicht überschätzt werden darf, wenn ihr auch, wie weiter unten gezeigt wird, zur Beurtheilung der localen Grundwasserschwankungen vielfach eine maassgebende Rolle zugeschrieben werden muss.

Der Niederschlag, der den Boden trifft, erleidet noch, bevor er an das Grundwasser gelangt, dadurch Verluste, dass er eine mehr oder weniger hohe Bodenschicht zu durchdringen hat, welche Wasser absorbirt; und da wird nun auch mehrfach behauptet, ein poröser Boden lasse deshalb Wasser überhaupt nur in geringe Tiefen einsickern und die Wassercapacität einerseits, die Verdunstung andererseits liessen die jährliche Regenmenge nicht genügend erscheinen, um auch nur die Capillaren des Bodens zu füllen, so dass alles Regenwasser in diesen zurückgehalten werden müsse. Was die Rolle der Verdunstung hierbei betrifft, so ist selbe bereits auf ihr richtiges Maass zurückgeführt worden. Die Capillarität des Bodens und die mit ihr verbundene Wassercapacität hat jedenfalls auch einen grösseren Einfluss, nur wirkt

1) MARIÉ DAVY, Ueber die Verminderung der Wassermenge der fliessenden Gewässer. Nach der auszugsweisen Uebersetzung von JELINEK in der Zeitschrift der österr. Gesellschaft für Meteorologie. IX.



derselbe Umstand, der ein Einsickern des Wassers in grössere Tiefen verhindern kann, andererseits wieder begünstigend für die Verdunstung.

Es ist unbestreitbar, dass ein vollständig ausgetrockneter Boden grosser Quantitäten Wasser bedarf, um auch nur seine absolute Wassercapazität zu sättigen. Eine trockene poröse Bodensäule von 50 Meter Höhe, wie sie ja nicht selten über dem Grundwasser sich erhebt, braucht, eine absolute Wassercapazität von 20 % vorausgesetzt, zur Sättigung eine Regenhöhe von 10 Metern, welche freilich nur erst nach Ablauf von vielen Jahren erreicht werden kann. So ist es auch erklärlich, warum in Versuchen von PERRAULT, DE LA HIRE u. A., die Gefässe in verschiedene Tiefe vergruben, nie Wasser in die tiefsten herab gelangte. Die Bodenarten verbrauchten offenbar in der That Alles zur Sättigung ihrer Wassercapazität. Unter natürlichen Verhältnissen wird aber diese Trockenheit nicht erreicht (wenigstens in den gemässigten Zonen), wie aus der S. 78 citirten Bestimmung des Wassergehalts im natürlichen Boden ersichtlich ist, besonders dort, wo sich unter einer porösen Bodenschicht eine undurchlässige befindet, die zur Ansammlung von Grundwasser führt. Wenn auch die oberflächlichsten Bodenschichten relativ stark austrocknen, so dringt dieser Process, wie wir gesehen, nur sehr allmählich und langsam in die Tiefe, besonders da ihm das capillare Wasserleitungsvermögen auch noch entgegen arbeitet. Es wird also in einer gewissen, mässigen Tiefe stets ein Feuchtigkeitsgrad herrschen, der der absoluten Wassercapazität ziemlich entspricht (die „Durchgangszone“ HOFMANN's, S. 310) und der fallende Niederschlag wird nur zum Theil dazu verbraucht, die oberen Schichten, die dem Austrocknungsprocess stärker unterliegen, die „Verdunstungszone“ zu sättigen, in den tieferen Schichten wird aber der durch sein Hinzutreten entstehende Ueberschuss abtropfen (vergl. auch S. 248).

Auf beiden Ufern des Rheins, bei Oberwesel und bei Caub, auf dem 600—800 Meter hohen Gebirge, befinden sich viele Schiefergruben in einem scheinbar ganz abgeschlossenen Felsgebirge. Trotzdem kann man in einer Tiefe von 70—100' wahrnehmen, wie in 12—24 Stunden nach Verlauf eines anhaltenden Regens das Wasser mit Macht aus den Schichten des Gebirges über die Arbeitsstrecken herunter träufelt. Der Hedwigsschacht auf der Steinkohlengrube bei Oelsnitz ist 650 Meter tief. Auf der tiefsten Abbausohle ist die Kohle ganz trocken; es herrscht hier eine Temperatur von 22° R. Man schliesst auch beim Steinkohlenbergbau die oberen, wasserführenden, 200 bis 300 Meter mächtigen Schichten durch Mauerwerk ab und mauert den unteren Schacht nicht.

Für geringere Tiefen haben wir eine grosse Reihe von Lysimeterbeobachtungen, bei denen der Abfluss direct gemessen wird. Die Resultate schwanken zwischen 25—41 %, theils nach klimatischen Verhältnissen, theils auch nach der Bodenbeschaffenheit; so beträgt in Görlitz der Abfluss

vom Thonboden . . . .	28 %	der	gefallenen	Regenmenge
„ Lehm Boden . . . .	41 %	„	„	„
„ lehmigen Sandboden .	40,5 %	„	„	„

Aehnlich wurde bei Drainanlagen die Abflussmenge bestimmt; es gelangen zum Abfluss:

bei Dolomitboden (England) . .	19,6 %	des	Niederschlags
„ Thonboden (Tharandt) . . .	40,8 %	„	„
„ Lehm Boden . . . . .	58,7 %	„	„
in den Versuchen RISLER's .	19,5 <sup>1)</sup> —31 %	„	„

An der Hand dieser Daten und im Zusammenhalt mit der früher schon erwähnten Sättigung der absoluten Wassercapacität des Bodens können wir schon an der Bedeutung der Niederschläge für die Entstehung des Grundwassers festhalten.

Die Menge der zur Versickerung gelangenden Stoffe wird aber auch wieder ausserordentlich variiren, je nach der Jahreszeit, d. h. je nach dem Verhältniss der Niederschläge und der Luftfeuchtigkeit, wie aus der tabellarischen Zusammenstellung S. 299 ersichtlich ist<sup>2)</sup>.

Wir sehen, welche grossen Unterschiede in den einzelnen Monaten sich finden, und wie sich hierdurch die einzelnen Jahreszeiten documentiren. Es gibt Monate, in denen kaum 1 % des Niederschlags durch den Boden hindurchgeht, ja wie der Boden in besonders trockenen Jahren den geringen Niederschlag vollständig aufsaugt, und wieder Monate, die allen Niederschlag hindurchtreten lassen oder gar paradoxer Weise mehr Niederschlag hindurchtreten lassen als auffällt (März in den Görlitzer und Tharander Versuchen). Dies ist wohl so aufzufassen, dass in dem vorhergehenden Monat der Boden vielleicht Wasser über seine absolute Capacität hinaus (vielleicht als Eis) festgehalten hatte, welches im folgenden Monat sodann zum Abfluss kam (vergl. auch S. 301).

So kann denn also bei einem geringen Niederschlag im Boden doch mehr Wasser zum Abfluss gelangen als bei einem grossen und bei einem Vergleich zwischen Grundwasserstand und atmosphärischen Niederschlägen müssen auch die anderen auf die Wasseransammlung

1) Im trockenen Jahre 1869, vergl. oben S. 296.

2) GILBERT, On Rainfall, Evaporation and Percolation. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. 1875/76.

im Boden Bezug habenden Factoren, der Zu- und Abfluss und die Verdunstung, berücksichtigt werden.

Die Unzulässigkeit, aus der an Ort und Stelle fallenden Regenmenge allein auf die Grundwasserschwan- kungen zu schliessen, folgt ferner aus der Betrachtung, dass wir es in der Regel beim Grundwasser mit einem mächtigen unterirdischen Wasserbecken zu thun haben, das einer sehr grossen Boden- fläche entspricht (auf der Hoch- ebene, auf der München liegt, hatte die Fläche, der ein ein- heitliches Grundwasserbecken entspricht, eine Ausdehnung von 1485 □Km). Auf dieser Fläche brauchen nun die Nie- derschlagsgrössen weder zeit- lich, noch der Intensität nach gleichartig zu sein; derartige locale Verschiedenheiten muss- ten sich aber in dem grossen Grundwasserströme allmählich ausgleichen und dadurch eine Incongruenz zwischen localem Niederschlag und Grundwasser herbeiführen. Es ist bekannt, dass mit der Erhebung des Bo- dens die Niederschlagsmenge zunimmt, es wird also ein Grundwassergebiet, das sich über eine grosse Fläche ab- steigend vom Gebirge gegen die Ebene hin erstreckt, in den höheren Partien eine grössere Regenmenge besitzen; dadurch wird ein fortwährender Abfluss

Es flossen ab in % der aufgefallenen Wassermenge:

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Früh- ling	Som- mer	Herbst	Winter	
Nach DALTON, Kies und Gartenerde (1796—98) . . . . .	59,0	70,3	31,0	13,1	36,1	12,0	1,5	4,9	9,7	7,8	29,8	53,9	29,6	5,3	15,6	59,6	25,1
Nach DICKINSON, sandig-kiesiger Lehm (1836—43) . . . . .	70,4	78,5	66,6	21,0	5,9	1,8	1,9	1,5	14,0	49,6	84,9	104,6	30,3	1,7	54,1	83,9	42,3
Nach C. CHARNOCK, Dolomitboden, Drainanlage (1842—46) . . . . .	39,3	26,4	27,7	36,0	8,3	5,5	8,6	8,3	14,4	27,9	23,9	20,5	24,9	7,7	22,8	30,3	19,6
Görlitz (1853—56), Thon . . . . .	0,9	41,4	88,6	34,3	16,2	35,6	26,3	24,9	32,7	50	9	4,1	36,1	29,3	26,5	19	28,1
Lehm . . . . .	0,9	40,9	90,5	17,1	51,3	51,1	53,6	33,7	35,9	45,8	12,4	35,9	52,4	45,6	28,6	29,9	41
lehmiger Sand . . . . .	1,8	75,4	111,4	37,1	30,6	47,5	55,3	27,2	33,3	53,3	10,1	16,5	49,7	42,4	27,9	37,7	40,5
Tharand u. Moholz, Thonboden . . . . .	67,3	86,5	150,4	59,4	27,6	22,7	31,15	9,7	11,9	16,6	32,6	91,5	59	21,3	20,9	84,4	40,8
Lehmboden . . . . .	74,1	90,5	234,5	75,2	46,7	35,2	54,0	19,6	24,0	28,5	45,0	103,6	89,7	36,0	32,9	9,2	58,67
Nach RUSSEN's Versuch im Grossen in Calvès bei Nyon, Schweiz (1867—68)	63,3	71,2	47,5	33,6	13,3	0,8	0,0	0,0	0,4	13,4	34,5	59,8	35,5	0,2	9,5	67,3	29,0

des Grundwassers vom Gebirge her gegen das Thal herbeigeführt, der den Einfluss der Niederschläge in den tieferen Regionen vollständig zu verdecken vermag. Analog kann auch ein gesteigerter Abfluss, eine bedeutende Wasserverminderung tiefer stromabwärts wirken.

Im Allgemeinen muss auch noch bedacht werden, dass theils in Folge des Widerstandes im Boden, theils wegen der grossen Wasserfläche, in welcher die Veränderungen vor sich gehen, die Schwankungen nur allmählich auftreten werden, damit ist nicht gesagt, dass dieselben kleiner sein müssen als die der Niederschläge, das Gegentheil wird oft genug eintreten können, sowie sich unterirdisch locale Eigenthümlichkeiten, Unebenheiten u. s. w. einstellen, die das Strombett verengern; in München sind die Grundwasserschwankungen fast 3mal so gross als die des Niederschlags, in Berlin ca. 16 mal (Fig. 29); je weiter abwärts derartige Querschnittsverengungen vorkommen, desto grösser werden die Schwankungen sein können, da ja dann eine grössere Wassermenge denselben Querschnitt passiren muss.

Im speciellen Falle wird nun bald der eine bald der andere Factor als bestimmend in die Erscheinung treten, je nach dem Ueberwiegen desselben. Am deutlichsten werden die Verhältnisse, wenn wir den Befund von 2 Orten miteinander vergleichen, die sich klimatologisch nicht unwesentlich unterscheiden, wie München und Berlin (Fig. 29—31).

Bezüglich der graphischen Darstellung sei zunächst bemerkt, dass es sich um mehrjährige Monatsmittel handelt (München 28 Jahre, 1856—83, Berlin 16 Jahre, 1870—85) und dass zur übersichtlichen Darstellung die Form des Doppeljahrs gewählt wurde, um stets eine bestimmte Zeitperiode ohne Unterbrechung in Betracht ziehen zu können. Da sehen wir zunächst eine ausserordentliche Uebereinstimmung in der Jahresperiode zwischen den Schwankungen des Niederschlags und denen des Grundwassers in München (Fig. 29 S. 303). Die Grundwassercurve geht der Niederschlagscurve fast vollständig parallel. Bei beiden beginnt das Ansteigen im Februar, das Maximum fällt in den Juni, Juli, August, nur beim Minimum ist eine kleine Abweichung, das Grundwasserminimum tritt um 3 Monate früher ein als das Niederschlagsminimum oder besser: das Grundwasser beginnt bereits anzusteigen, noch bevor die Niederschläge ihr Minimum erreicht haben. Es sei dies gleich hier erklärt. Die Monate November bis Januar, die kältesten, werden am wenigsten Wasser aus dem Boden verdunsten lassen, und die in diese Monate fallenden Niederschläge, selbst wenn sie die relativ niedrigsten sind, sind doch absolut so gross, 30—42 Mm. pro Monat, dass sie den Verlust durch



Abfluss, besonders durch Verdunstung leicht übercompensiren können (S. 299), es tritt ungefähr jener Fall ein, wie er sich im Görlitzer Versuch (S. 298) präsentirt hat; die Zuflüsse sind hinreichend, um das Grundwasser bereits zum Ansteigen zu bringen, da die Verluste des Grundwassers gering sind, vielleicht wirken auch noch Zuflüsse vom Gebirge her mit. In Berlin (Fig. 29 S. 302) scheinen dagegen die Beziehungen zwischen Niederschlag und Grundwasser vollständig zu fehlen, es ist aber auch sofort aus der Curve ersichtlich, warum; der Niederschlag ist an und für sich bedeutend geringer als in München, 571 Mm. in Berlin im Jahr gegenüber 803 in München, also in Berlin um circa 30 % geringer; er zeigt ferner keinen so ausgesprochenen, jahreszeitlichen Rhythmus, die Excursionen sind viel regelloser, die Amplituden viel geringer, die ganze Schwankung eine viel flachere. Trotzdem findet sich eine viel schärfere Ausprägung des Rhythmus im Grundwasser, dessen Absinken in die Periode des höchsten Niederschlags (Juli) fällt, und dessen Minimum sogar mit dem zweiten Niederschlagsmaximum coincidirt (October), dessen Maximum dagegen mit dem Niederschlagsminimum zusammenfällt. (Ganz analog verhält sich Bremen und Frankfurt a. M.)

Dieser Grundwasserrhythmus wird in Berlin durch einen anderen Factor bedingt, der daselbst im Gegensatz zu München dominirend in die Erscheinung tritt, und dieser Factor ist die Trockenheit der Luft und der damit im Zusammenhang stehende Gang der Verdunstung. Wir können denselben in Form des Sättigungsdeficits zur Darstellung bringen. Von der Spannung ( $P$ ), welche demjenigen Wassergehalte entspricht, welchen die Luft bei einer bestimmten Temperatur bei voller Sättigung mit Wasserdampf besitzt, wird jene Spannung ( $p$ ) in Abrechnung gebracht, welche bei dieser Temperatur wirklich beobachtet wurde, diese Differenz ( $P - p$ ), das Sättigungsdeficit, ist der Ausdruck für die Trockenheit der Luft, für die Grösse der möglichen Verdunstung<sup>1)</sup>. In Berlin (Fig. 30 S. 304) lässt sich nun ein Zusammenhang zwischen Sättigungsdeficit und Grundwasser äusserst deutlich demonstrieren, dem grössten Sättigungsdeficit der Monate Mai bis September folgt (mit zweimonatlicher Verspätung) der niedrigste Grundwasserstand Juli bis November, dem niedrigsten Sättigungsdeficit der Monate October bis April folgt der höchste Grundwasserstand Januar bis Juni in einer überraschenden

---

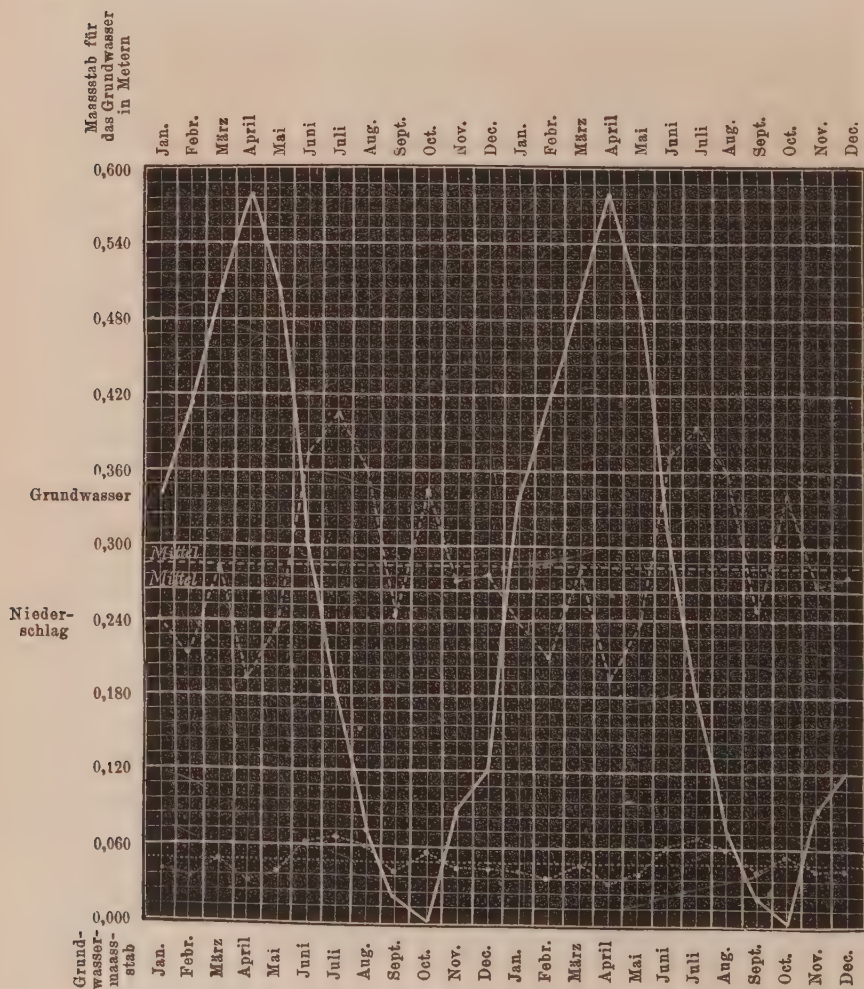
1) Vergl. Jahresberichte des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. 1869/70—1872/73; ferner FLÜGGE, Hygienische Untersuchungsmethoden; MEYER (Meteorolog. Zeitschrift. 1885) und DENEKE (Zeitschrift f. Hygiene. 1886).

## Jahresperiode des Grundwasserstandes un

Berlin 1870/85 (16jähr. Mittel).

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	M
Mittlerer Grundwasser-stand über d. adriat. Meere in Metern . .	32,72	32,79	32,88	32,96	32,88	32,69	32,56	32,45	32,40	32,38	32,47	32,50	
Mittlere Niederschlagsmenge in Mm. . . .	40,3	34,8	46,6	32,1	39,8	62,2	66,2	60,2	40,8	57,5	44,5	46,2	4

———— Grundwasser.      - - - - - Niederschlag

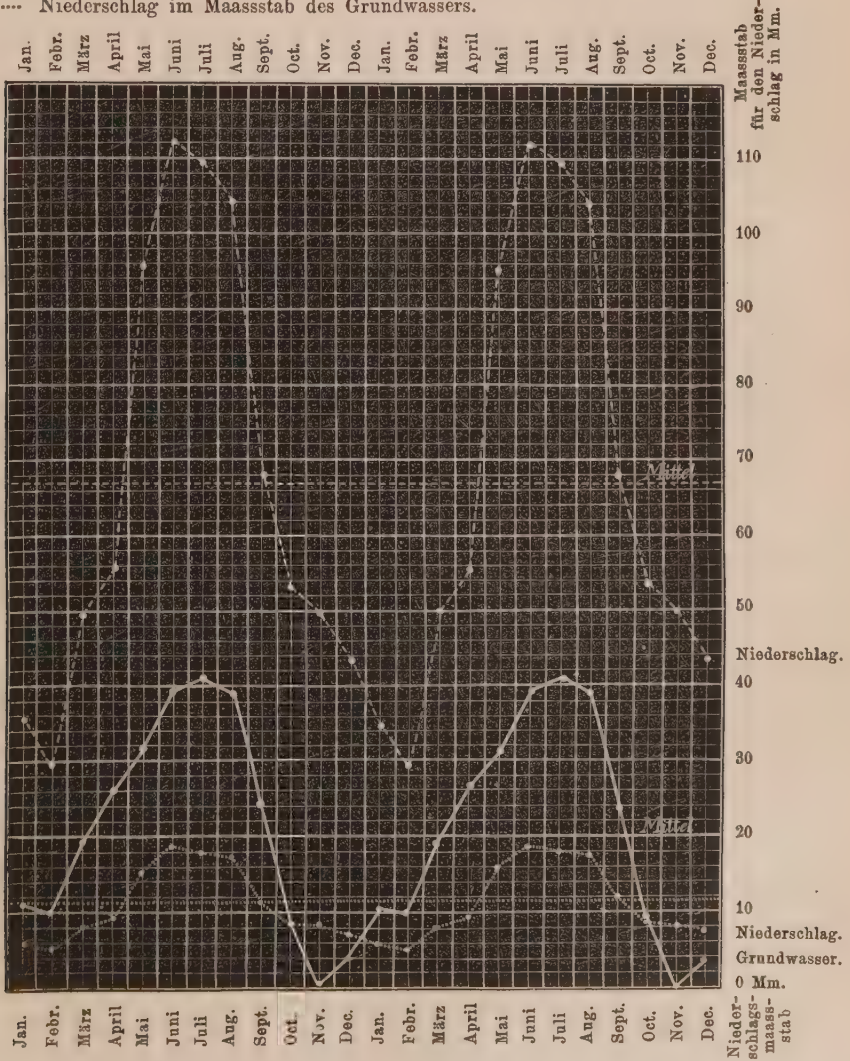


der Niederschläge in Berlin und München.

München 1856/83 (28jähr. Mittel).

Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Mittel
515,547	515,545	515,600	515,643	515,674	515,724	515,733	515,723	515,629	515,539	515,485	515,506	515,612
53,3	29,6	48,5	55,6	95,1	111,9	108,8	104,4	68,1	53,1	50,0	42,9	66,9

..... Niederschlag im Maassstab des Grundwassers.

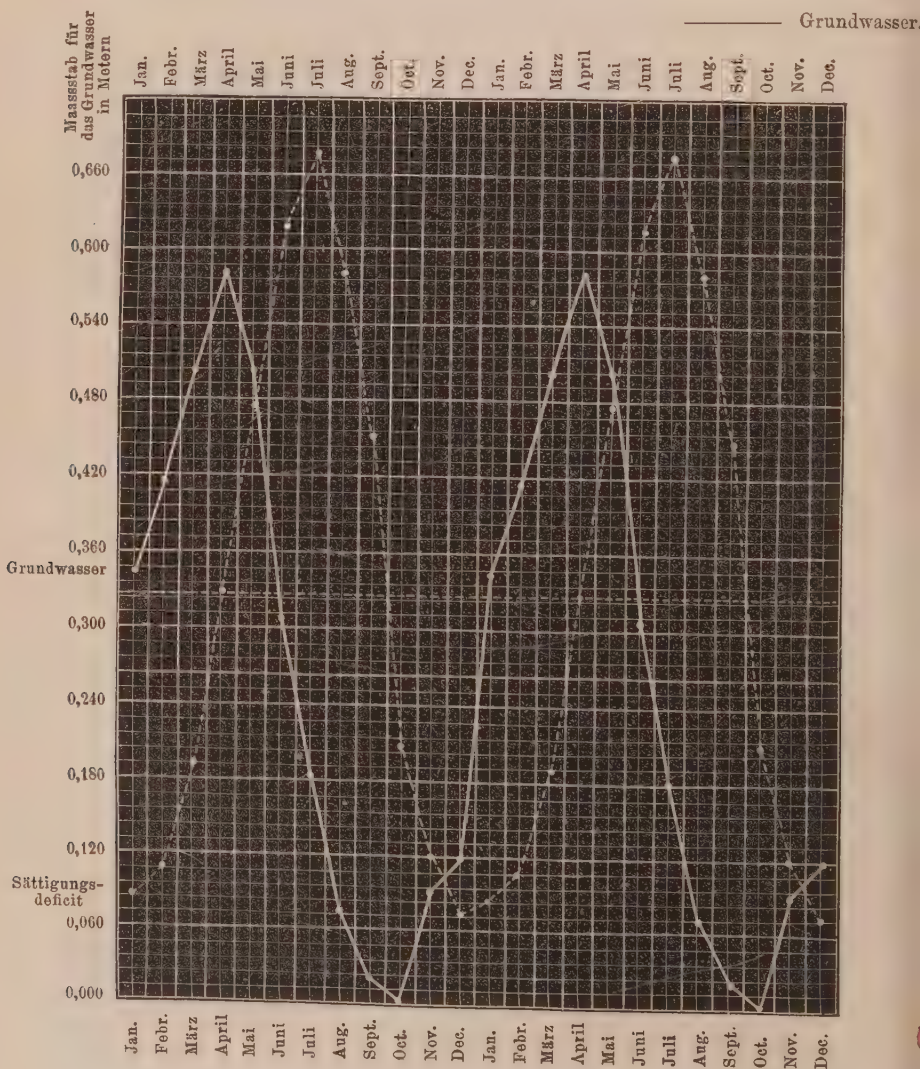




## Jahresperiode des Grundwasserstandes und

Berlin 1870/85 (16jähr. Mittel).

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Mit.
Mittlerer Grundwasserstand über d. adriat. Meere in Metern . .	32,72	32,79	32,88	32,96	32,88	32,69	32,56	32,45	32,40	32,38	32,47	32,50	32,50
Mittleres Sättigungsdeficit in Mm. . . .	0,71	0,91	1,55	2,73	3,95	5,13	5,64	4,83	3,77	1,72	1,01	0,59	2,00



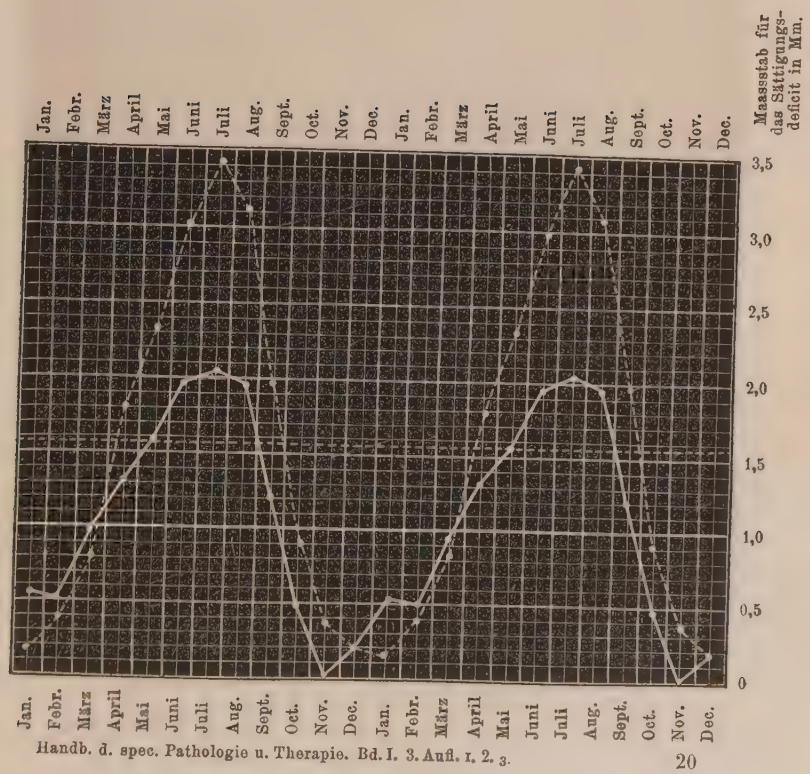


des Sättigungsdeficits in Berlin und München.

München 1856/83 (28jähr. Mittel).

Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jahr
5,547	515,545	515,600	515,643	515,674	515,724	515,733	515,723	515,629	515,539	515,485	515,506	—
0,15	0,41	0,81	1,78	2,34	3,00	3,43	3,13	1,98	0,93	0,39	0,20	1,55

— — — — Sättigungsdeficit.

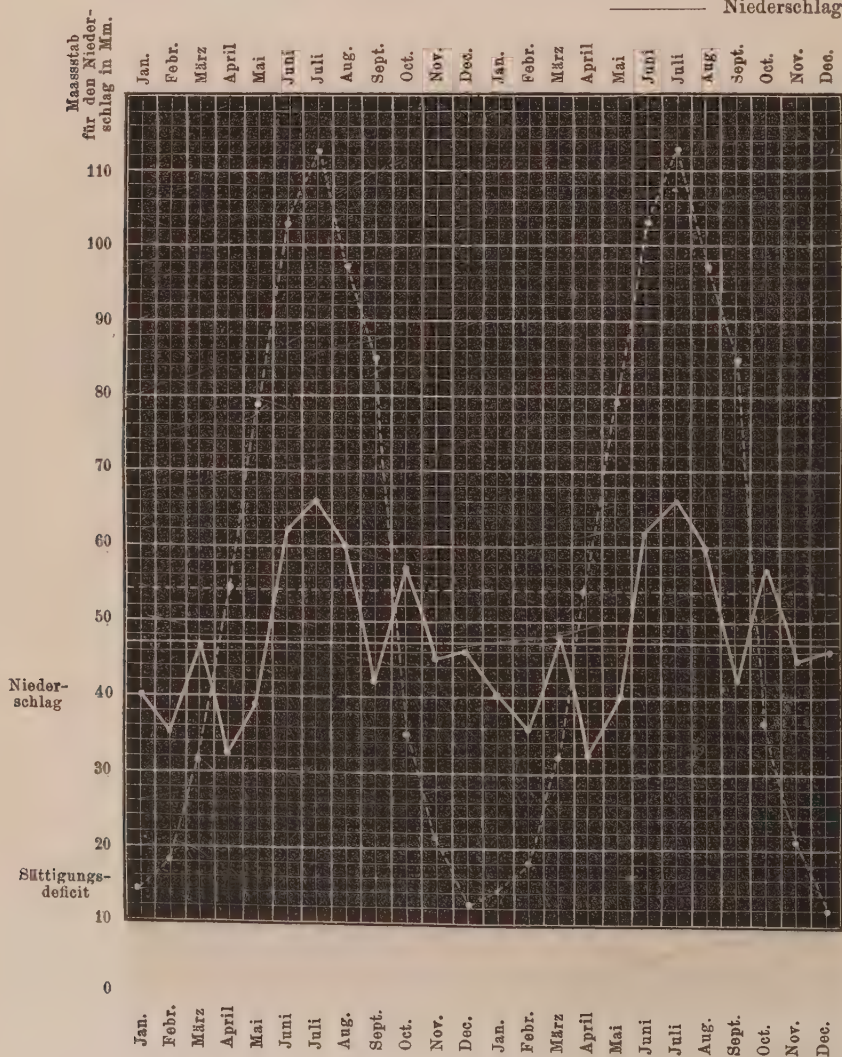


## Jahresperiode des Niederschlags und des

Berlin 1870/85 (16jähr. Mittel).

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Mit.
Mittlere Niederschlags- menge in Mm. . . . }	40,3	34,8	46,6	32,1	39,8	62,2	66,2	60,2	40,8	57,5	44,5	46,2	47,5
Mittleres Sättigungs- deficit in Mm. . . . }	0,71	0,91	1,55	2,73	3,95	5,13	5,64	4,83	3,77	1,72	1,01	0,59	2,00

Niederschlag in Mm.

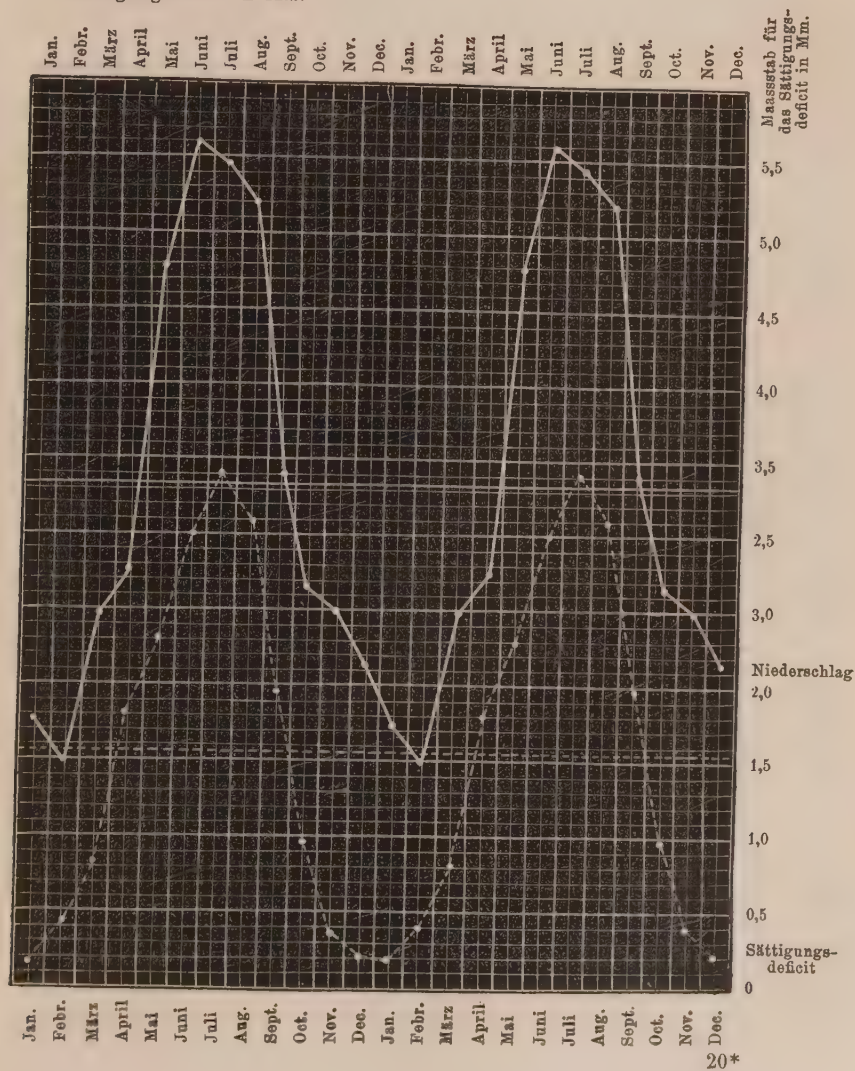


## Sättigungsdefizits in Berlin und München.

München 1856/83 (28jähr. Mittel).

Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Mittel
35,3	29,6	48,5	55,6	95,1	111,9	108,8	104,4	68,1	53,1	50,0	42,9	66,9
0,15	0,41	0,81	1,78	2,34	3,00	3,43	3,13	1,98	0,93	0,30	0,20	1,55

----- Sättigungsdeficit in Mm.





Uebereinstimmung des Rhythmus, davon sehen wir in München nichts, im Gegentheil coïncidirt hier sogar das Maximum des Sättigungsdeficits und das Maximum des Grundwassers. Dies ist kein Widerspruch, es ist sogar ein Beleg für die Richtigkeit der hier entwickelten Anschauungen, wie aus der Darstellung in Fig. 31 hervorgeht. In die Zeit des grössten Sättigungsdeficits in München fallen die höchsten Niederschläge, die auch absolut sehr hohe sind, und die dasselbe weitaus übercompensiren müssen.

Es ist aber eine besondere Beachtung auch noch den relativen Verhältnissen zwischen Grundwasser, Niederschlag und Sättigungsdeficit in München und Berlin zuzuwenden. In München haben wir mächtige Niederschläge mit scharf ausgeprägtem, jahreszeitlichem Rhythmus, aber nur eine geringe Amplitude des Sättigungsdeficits, ein relativ feuchtes Klima, in Berlin dagegen sind schwächere Niederschläge mit verwischem jahreszeitlichen Rhythmus, dagegen ein hohes Sättigungsdeficit mit ausserordentlich grosser Amplitude; dem entsprechend sind auch die Oscillationen des Grundwassers in Berlin viel mächtiger, fast zweimal so gross als in München, wo durch den Umstand, dass gerade die mächtigen Niederschläge in die Zeit der grössten, aber doch nicht sehr bedeutenden Trockenheit fallen, das Ansteigen gemildert wird und wo umgekehrt der Umstand, dass das Minimum der Niederschläge absolut noch eine bedeutende Höhe repräsentirt und dabei in die Zeit der grössten Luftfeuchtigkeit fällt, das allzu tiefe Absinken des Grundwassers hintanhält. Wir können also resumiren: In München, einer Localität mit einer grossen, deutlich rhythmischen Niederschlagsmenge, mit einer nur geringen Trockenheit der Luft und mit einer Coïncidenz des Maximums von Niederschlag und von Lufttrockenheit mit entschiedenem Ueberwiegen des ersteren beherrscht der Niederschlag die Periode der Grundwassercurve und prägt sich in ihren Schwankungen aus, in Berlin mit geringen, ziemlich regellosen, atypischen Niederschlägen, dagegen mit einem weitaus viel höheren Sättigungsdeficit sind die periodischen Grundwasserschwan- kungen von letzterem beeinflusst, der Regen kommt in denselben fast gar nicht zum Ausdruck. Freilich wirkt bei Berlin die Trockenheit des Sommers auch indirect auf das Grundwasser, insofern sie den Wasserstand der Spree beeinflusst, und dieser wieder auf das Grundwasser zurück wirkt (vergl. Cap. III).

Es scheinen in diesen beiden Beispielen wirklich Typen für die Beziehungen zwischen Grundwasser und atmosphärischem Wasser vorzuliegen. So verhält sich Salzburg, das klimatisch und geographisch München so nahe steht, auch bezüglich dieser Verhältnisse



vollkommen analog wie München, während wieder Bremen, Frankfurt a. M. vollkommen mit Berlin übereinstimmen <sup>1)</sup>).

Zwei meteorische Elemente sind es also, die die periodischen Schwankungen des Grundwassers, den in der Jahreszeit gelegenen Rhythmus beherrschen, die Niederschläge und die, allerdings zu meist durch die Temperatur bedingte Verdunstung <sup>2)</sup>. Letztere ist für das Absinken des Grundwassers von so ausserordentlicher Bedeutung, dass sie mitunter den ganzen Rhythmus der Grundwasserschwankung beherrscht und auch die Grösse der Excursionen beeinflusst, und wenn ihr bei Erörterung ihrer Rolle mit Rücksicht auf den Transport und auf die Loslösung von Organismen eine grössere Wichtigkeit beigelegt worden, so scheint dies hiermit wohl begründet.

Es wird sich aber empfehlen, auch noch die einzelnen, über dem Grundwasser befindlichen Bodenschichten nach ihren Beziehungen zum Grundwasser etwas auseinander zu halten. HOFMANN <sup>3)</sup> theilt, dem entsprechend, die über dem Grundwasser befindliche Bodenlage in drei, sowohl nach Wassergehalt als nach ihren Wechselbeziehungen zu Niederschlags- und Grundwasserschwankungen unterscheidbare Zonen.

1. Die Verdunstungszone. Es ist die oberflächlichste Schicht, in welcher die grössten und häufigsten Schwankungen des Wassergehalts vor sich gehen, insofern als sich hier einerseits die Verdunstung etablirt, andererseits die Niederschlagsmengen, zeitweise wenigstens, den höchsten Durchfeuchtungsgrad herbeiführen können. Für den Feuchtigkeitsgehalt dieser Zone sind beide Factoren, der Niederschlag sowohl als auch das Grundwasser zeitweilig maassgebend; der Niederschlag direct, das Grundwasser insofern, als ein zum Theil durch die Verdunstung unterhaltener Capillarstrom das Wasser aus der Tiefe an die Oberfläche leitet, natürlich mit wechselnder Intensität, je nach der Austrocknung, aber auch je nach dem absoluten oder relativen Hochstand des Grundwassers (ESER) <sup>4)</sup>. Eine grössere

1) SOYKA, Die Grundwasserschwankungen und ihre Ursachen. Wien 1887.

2) Gewiss spielt auch die Windbewegung und vielleicht auch der barometrische Druck eine hervorragende Rolle. Es ist auch die Abhängigkeit der Verdunstung von diesen Factoren mathematisch festgestellt (WEILENMANN, Oesterr. Zeitschrift f. Meteorologie. XII). Es konnte jedoch dieser Punkt hier um so leichter übergangen werden, als in dem jeweiligen Sättigungsdeficit sich ja schon die Wirkung der Luftbewegung ausspricht.

3) Archiv für Hygiene. I.

4) Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. VII.

Austrocknung dieser Zone wird wohl auch durch den Grundwasserstand angezeigt werden, für eine Durchfeuchtung nach erfolgter intensiver Austrocknung wird aber nach dem Vorangeschickten der Niederschlag selbst ein prompterer Index sein. Es wird sich hier mitunter ein eigenthümliches Verhalten etabliren, das für den Transport von Pilzen von Bedeutung sein kann; bei starker Austrocknung werden etwa auffallende geringe Niederschläge, denen wieder eine längere Trockenheit nachfolgt, nicht im Stande sein, den Transport der Pilze in grössere Tiefen, wo sie offenbar leicht zu Grunde gehen, zu bewerkstelligen, da die Flüssigkeit in den ausgetrockneten oberflächlichen Bodenschichten festgehalten wird, es wird im Gegentheil die Möglichkeit geboten sein, dass Pilze, die sich in den vom Regen befeuchteten Bodenschichten befinden, nun erst an die Oberfläche gelangen, da ja jetzt ein capillarer Auftrieb ermöglicht ist. Wenn noch berücksichtigt wird, dass (nach S. 100) gerade jene Momente, die das Eindringen von Flüssigkeiten in die Tiefe erschweren, das capillare Aufsteigen derselben befördern, so wird es plausibel, dass nach solchen geringen, eine anhaltende Trockenheit nur kurz unterbrechenden Niederschlägen die aufsteigende Bewegung in ihrem Effect bedeutend über die absteigende überwiegen kann. Es kann dies vielleicht mit zur Erklärung jener epidemiologischen Thatsache herbeigezogen werden, warum mitunter nach lange anhaltender Trockenheit, die nur kurze Unterbrechung derselben durch einen Niederschlag, den Ausbruch einer Epidemie im Gefolge hat.

Von denselben Gesichtspunkten aus müssen dann auch noch die (nächtlichen) Condensationen in der Bodenoberfläche aufgefasst werden, die gleichfalls nur in die oberflächlichsten Bodenschichten eindringen, hier die capillare Befeuchtung herbeiführen und am Tage wieder zur Verdunstung gelangen (vergl. S. 223 ff.).

2. Die Durchgangszzone, als welche HOFMANN die mittlere Strecke bezeichnet, in welcher die Wasserverdunstung nicht mehr zur Geltung kommt, oder sagen wir vielleicht besser, nicht mehr direct zur Geltung kommt. In ihr ist jener Wassergehalt vorhanden, der — eine Folge der Capillarität — eintritt, wenn dem Boden ein gewisser Ueberschuss von Wasser zur Verfügung gestellt wird bei freiem Abfluss nach unten, der also der absoluten Wassercapazität des Bodens entspricht. Dieser Wassergehalt wird sich in dieser Zone stets auf einer gewissen Constanz erhalten. Ein Ueberschuss wird abfliessen, ein Deficit kann von unten her durch capillares Nachsteigen gedeckt werden. Dagegen dürfte auch hier kaum ein voll-

kommenes Stagniren des Wassers vorkommen; durch das als Folge der Verdunstung zu constatirende capillare Aufsteigen des Wassers muss auch hier eine fortwährende, wenn auch nur minimale Bewegung eintreten.

Wenn nun auch der Wassergehalt dieser Zone stets ein constanter ist, so wird dagegen eine um so grössere Inconstanz in den Grenzen derselben auftreten, für welche gerade das Grundwasser der geeigneteren Maassstab sein wird. Bei starker Durchfeuchtung des Bodens, beim Ansteigen des Grundwassers wird die obere Grenze weiter hinauf rücken, beim Austrocknen, beim Sinken des Grundwassers wird sie sich nach unten verschieben; der Regen wird diese Zone erst dann beeinflussen, wenn er auch wirklich die ganze Verdunstungszone durchdrungen, dann aber muss er auch aus dieser mittleren Zone gegen das Grundwasser abfliessen und dieses zum Steigen bringen.

3. Die Zone des capillaren Grundwasserstandes; diese entspricht einer Durchfeuchtung, wie sie erhalten wird, wenn sämtliche Capillarräume mit Wasser erfüllt sind, auch jene, die in den etwas höheren Schichten in Folge der der Capillarität entgegenwirkenden Schwere leer werden müssen; es wird dieser Zustand als volle oder grösste Wassercapacität bezeichnet.

Wohl wird der Wassergehalt dieser Schicht, ganz so wie der nächst oberen constant bleiben, indem er der vollen Wassercapacität entspricht, allein mit dem Fallen und Steigen des Grundwassers wird gerade in diesen beiden Schichten eine Verschiebung nach unten oder oben eintreten, und beim Steigen schliesslich auch ein Theil der Verdunstungszone in das Bereich der capillaren Sättigung hineingezogen werden.

Die Schwankungen des Grundwasserstandes sind also vielfach als das Resultat zweier einander entgegen arbeitender Naturerscheinungen, der Verdunstung und der Niederschläge, zu betrachten. Das Ansteigen des Grundwassers ist das Resultat der grösseren Durchfeuchtung der oberen Bodenschichten, die Durchgangszone muss einen grösseren Ueberschuss an Wasser erhalten haben, den sie der tieferen Zone des capillaren Grundwasserstandes abgibt; diese letztere rückt dabei nach oben, ebenso die Durchgangszone, die Verdunstungszone auf eine kleinere Schicht beschränkend. Wir haben nun trotz dieses Ansteigens des Grundwassers eine Wasserbewegung im Boden mit absteigender Tendenz; es ist dies kein Widerspruch gegenüber dem Aufsteigen des Grundwassers: das Aufsteigen ist nichts als die Folge des Umstandes, dass die undurchlässige Schicht



die von oben her gesteigerten Zuflüsse am weiteren Versickern verhindert und dass das in die Tiefe abfliessende Wasser sich oberhalb ihrer ansammelt; durch diese nach abwärts gerichtete Bewegung des Wassers wird aber auch den aufwärts strebenden capillaren Strömungen entgegengearbeitet. Umgekehrt wird ein Sinken des Grundwassers anzeigen, dass die Verdunstung überwiegt, die Verdunstungszone wird grösser, ihre Grenze rückt in grössere Tiefe, die Durchgangszone verliert an Wasser, das durch die Verdunstungszone an die Oberfläche transportirt wird, die erste Zeit jedenfalls auf dem Wege der Capillarität (vergl. S. 222), und trotz des „Sinkens“ des Grundwassers hat die Bewegung des Wassers im Boden eine aufsteigende Tendenz. Wir können uns gewissermaassen vorstellen, als saugte die Sonnenwärme das Wasser aus dem Boden, wodurch natürlicher Weise das Niveau des Grundwassers sinken muss. Das Sinken des Grundwassers ist also nicht eine Abwärtsbewegung desselben, sondern nur der Ausdruck für die Wasserabnahme, die an der Oberfläche in Dampfform, in den unterhalb der Oberfläche befindlichen Schichten dagegen in Form von aufsteigenden capillaren Strömungen vor sich geht, die zum Ersatz des von der Oberfläche verdunstenden Wassers herbeiströmen; wir haben die so beim Sinken des Grundwassers eintretende Niveauerniedrigung zu vergleichen mit einer solchen, wie sie in einem mit Flüssigkeit gefüllten Gefässe vor sich geht, dem man durch Saugen Flüssigkeit entnimmt.

In diesen Fällen ist demnach der Grundwasserstand gewissermaassen als eine Resultirende zwischen Niederschlag und Verdunstung zu betrachten. Diese Wechselbeziehungen haben aber nicht überall Geltung, insbesondere können die Beeinflussungen von Seite der Flüsse dieselben stören. Dort allerdings, wo die Flüsse in ihrem Wasserstande den localen meteorischen Factoren folgen (Wasserabnahme im Sommer durch Verdunstung, Spree, Main, Weser), braucht hierdurch das Bild nicht verwischt zu werden, die Verhältnisse verlieren jedoch an Klarheit, sowie der beeinflussende Strom in seinem Wasserstande von meteorischen Factoren beherrscht wird, die weit vom Orte der Grundwasserbeobachtungen sich abspielen und einen anderen Charakter zeigen, so z. B. in Wien, wo die Donau in der heissen Zeit vom Gebirge her starke Zuflüsse bekommt und demgemäss ihr Maximum im Juni bis Juli zeigt.

Die Schwankungen des Grundwassers liefern uns durch ihre eventuelle Coincidenz noch einen Anhaltspunkt für die S. 269 entwickelte Anschauung über den Zusammenhang der Grundwasserströmungen innerhalb gewisser geologisch einheitlicher Gebiete.



In dem Münchener Becken sind von PETTENKOFER seit 1858 resp. 1861 Untersuchungen der Grundwasserstände innerhalb eines Gebietes gemacht worden, das in der Richtung von Ost nach West eine Ausdehnung von 2,7 Meilen = 20 Km. repräsentirt. Der Reihe nach (München als Centrum) sind diese Ortschaften:

	Richtung von München	Entfernung von München in Km.	Ueber dem Meere in Metern
Strasstrudering . .	östlich	8,3	528
Kirchtrudering . .	"	8,3	527
Berg am Laim . .	"	5,6	528
München . . . . .	—	—	521
Pasing . . . . .	westlich	7,7	526
Aubing . . . . .	nordwestl.	10,9	526
Lochhausen . . . .	"	11,9	517

Die Isar trennt die beiden Gruppen von einander, und dies prägt sich wohl in dem Rhythmus aus, trotzdem aber ist die Uebereinstimmung der Schwankungen eine ausserordentliche (Tabelle u. Fig. 32). Vollständig trifft sie zu für die tiefsten Stände der Jahre 1863, 1870, nahezu vollständig für die Jahre 1866, 1874, 1879, wo einzelne Brunnen ein Voranschreiten oder Zurückbleiben um ein Jahr zeigen. Ferner ist die vollständige Uebereinstimmung vorhanden bei den höchsten Ständen der Jahre 1861, 1864, 1871, nahezu vollständig 1867, 1877, und der ganze Parallelismus spricht sich ja in der Zeichnung (Fig. 32, S. 314) aufs Deutlichste aus.

Die beiden Brunnen München und Lochhausen, unter einander ziemlich übereinstimmend, zeigen einen etwas anderen Charakter, indem die Amplituden viel geringer ausfallen. Diese beiden Brunnen liegen bereits am weitesten nach Norden gegen den Abfluss des Grundwassers zu und zeichnen sich auch durch die grössere Tieflage des betreffenden Höhenbestimmungsorte aus, durch eine beckenartige Vertiefung, die eine grössere Beständigkeit des Wasserniveaus herbeiführt. Lochhausen speciell, der nördlichst gelegene Beobachtungsort, liegt bereits am Beginne jenes Theils der Hochebene, wo der Glacialschotter so sehr an Mächtigkeit abgenommen hat, dass hier bereits reich-

Abstand des Grundwassers vom Fixpunkt:

	1861	1862	1863	1864	1865	1866	1867	1868	1869	1870	1871	1872	1873	1874	1875	1876	1877	1878	1879	1880
Strasstrudering Nr. 25	2,95	4,58	4,99	4,50	4,88	6,68	4,39	3,65	4,66	5,40	4,60	4,93	5,37	5,63	5,08	2,19	1,96	2,42	3,20	3,53
Kirchtrudering = 28	4,10	5,39	5,84	5,38	5,78	7,57	5,23	4,55	5,50	6,23	5,53	5,94	6,37	6,37	6,09	3,31	2,96	3,36	4,08	4,19
Berg am Laim = 48	5,35	6,63	6,87	6,39	6,75	8,14	6,11	5,84	6,48	8,41	6,41	6,60	7,25	7,53	7,06	4,90	4,58	4,91	5,41	5,66
Pasing = 35	—	8,62	8,85	6,96	9,70	8,97	6,48	8,38	9,61	9,78	7,87	8,04	8,84	9,90	9,76	6,23	6,57	6,49	8,66	7,42
Aubing = 53	0,55	0,97	1,29	0,85	1,43	2,16	0,38	0,77	1,11	1,55	0,79	0,75	1,10	1,47	1,53	0,18	0,45	0,28	0,81	0,49
Lochhausen Siegerer .	5,76	6,10	6,39	6,01	6,51	6,23	6,11	6,28	6,12	6,37	6,28	6,46	6,25	6,47	6,60	6,22	6,11	5,94	6,08	6,01

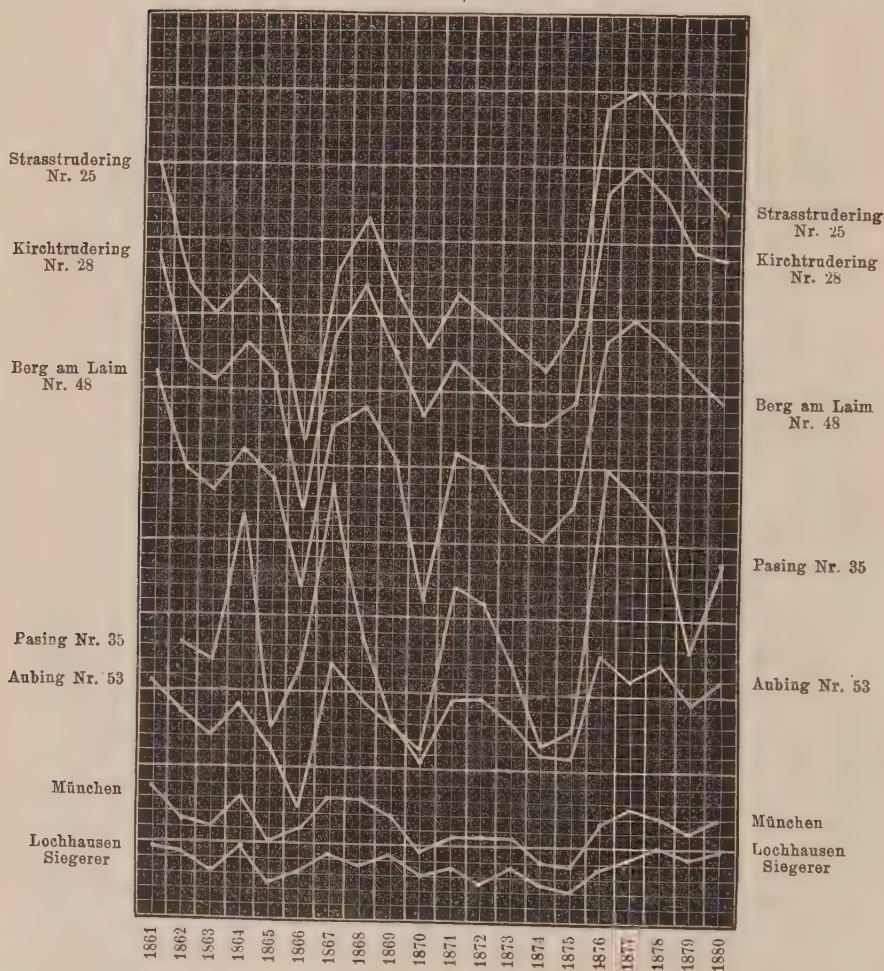
lich Quellen erscheinen, und wo auch das Grundwasser bereits zu Tage tritt, sich verbreitet und zur Moosbildung (Dachauer Moos) führt. Wenn wir nun bedenken, dass diese Messungen nur einmal jährlich vorgenommen

Fig. 32.

Grundwasserschwan-  
kungen auf der Hohebene von München.

1861—1880.

1 Mm. = 0,1 Meter.



wurden bei Brunnen, die ausser der Controle der Beobachter standen, so müssen wir die Uebereinstimmung als eine überraschend grosse ansehen, die eine wesentliche Stütze für die einheitliche Auffassung des Grundwasserstromes ergibt.

*9. Besondere Formen der Wasseransammlung im Boden.***Moore und Sümpfe.**

Unter einer besonderen, längere Zeit verkannten Form erscheint das Grundwasser in den Mooren.

Es wurde schon (S. 273) hervorgehoben, dass die Neigung der undurchlässigen Schicht, auf welche das Grundwasser abfließt, nicht einen gleichen Schritt hält mit der der Oberfläche, so dass allmählich das Grundwasser der Oberfläche immer näher zu kommen scheint. Die Sohle des Münchener Beckens neigt sich auf der 30 Km. langen Strecke zwischen Thalkirchen bis Pulling (bei Freising) um 73 Mt., während die Grundwasserhorizontalen nur eine Differenz von 64 Mt. zeigen; am entgegengesetzten Ufer der Isar fällt das Terrain auf dieselbe Distanz um 182, das Grundwasser nur um 97 Meter <sup>1)</sup>.

Mit dieser Abnahme der Mächtigkeit der den Flinz überdeckenden Schichten kann es endlich dazu kommen, dass sich die Coten des Grundwasserspiegels mit jenen des Terrains fast decken, und dass das Grundwasser zu Tage tritt.

Die Entstehung dieser Ansammlungen, die nun meist auf dem schon wenig geneigten Flinz auftreten, in dem kein entschiedener Thalweg ausgeprägt erscheint, wird noch durch die benachbarten Flüsse begünstigt, indem dieselben, mit nicht allzu grossem Gefälle über ihre durchlässigen Alluvionen hinwegfliessend, je nach dem Pegelstande einen Theil ihres Wassers durchsickern lassen; zugleich versperren die Geröllablagerungen den zufließenden kleineren Gewässern die Einmündung. Diese werden in Folge dessen zurückgestaut, und durchfeuchten um so stärker den Thalgrund, als sie häufig veranlasst sind, der Richtung des Hauptflusses eine Strecke weit zu folgen. Sie erscheinen also als ein in eine Thalsenke zurückgestautes Bodenwasser, das im Allgemeinen keine grossen Schwankungen zeigt (vergl. S. 314).

Genetisch auseinander zu halten von diesen Mooren, die auch als Quell-, Stau- und Infiltrationsmoore bezeichnet werden, sind die sogenannten Muldenmoore, Ausfüllungen von Depressionen im impermeablen Boden, Ueberbleibsel untergegangener Seen, die dann schon den Uebergang zu den Sümpfen bilden.

Wir verstehen unter Sumpf eine Ansammlung von stagnirenden, mit pflanzlicher Vegetation bedeckten Wassermengen, nach E. Ré-

---

1) CHR. GRUBER, Das Münchener Becken. Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde. I. 4. 1885.



clus<sup>1)</sup> sind es „Seen von geringer Tiefe, deren stagnirendes oder nur sehr schwach bewegtes Wasser, wenigstens in der gemässigten Zone, mit Binsen, Schilf, Carex erfüllt und zuweilen mit Bäumen umsäumt ist, die ihre Wurzeln in Schmutz zu tauchen lieben“; es dürfte aber schwer sein, eine präzise Unterscheidung zwischen Seen und Sümpfen zu machen, weil das Niveau dieser Wasserbecken nach Jahreszeiten und Jahren schwankt, und die Mehrzahl der Seen, hauptsächlich die der Ebenen, in Form von seichten Buchten, die wahrhaftigen Sümpfen entsprechen, auslaufen, und so oft vollständig von Sümpfen umgeben sind. Ebenso durchfliessen manche Flüsse oft niedrige Gegenden, in denen sich temporäre oder permanente Sümpfe bilden, deren unbestimmte Grenzen unaufhörlich mit dem Niveau des Flusses sich ändern. Endlich sind auch die schwach geneigten Meeresküsten auf grosse Ausdehnung hin mit Sümpfen bedeckt, die im Allgemeinen durch niedrige, von den Wogen aufgeworfene Sandhügel vom hohen Meere getrennt sind und in denen man Brackwasser in der verschiedenartigsten Concentration vorfindet.

Als Bedingungen der Sumpfbildung ergeben sich folgende Momente:

Eine impermeable Schicht, auf der sich das Wasser ansammeln kann; dieselbe kann entweder direct und allein als Boden, Bett des Sumpfes dienen, oder kann auch noch in einer gewissen Höhe von einer eventuell sehr durchlässigen Bodenschicht bedeckt sein. Auf diese Weise kann also auch in einem sehr permeablen Boden Sumpfbildung vorkommen.

Eine derartige Configuration der undurchlässigen Schicht, dass der Abfluss des sich ansammelnden Wassers vollständig gehemmt oder sehr erschwert ist; dies erfolgt

a) durch zu geringe Neigung dieser Schicht oder durch Bildung von Becken, Mulden oder natürlichen Reservoirs.

b) Der mangelnde oder erschwerte Abfluss des Wassers kann aber auch dadurch hervorgerufen sein, dass dasjenige Wasserreservoir (Bach, Fluss, Meer), in welches der Erguss stattzufinden hat, sein Bett erhöht durch Anschwemmung, künstliche Wasserbauten u. s. w. und dadurch stauend wirkt. Findet eine solche Betterhebung in einem Hauptflusse statt, so staut das Wasser in die Seitenflüsse zurück, und werden dann die Gelände der letzteren allmählich dieselben Veränderungen erleiden. Mitunter tritt auch die Erscheinung auf, dass vorhandene Teiche und Seen durch in sie einmündende Bäche und Flüsse, welche Geschiebe

1) E. RÉCLUS, La Terre. I. p. 548.



mit sich führen, nach und nach ganz oder doch theilweise ausgefüllt werden. Bevor dies vollständig erreicht wird, wird der Boden, wenn er sich bis nahe an die Oberfläche erhöht hat, mit Wasserpflanzen bewachsen, und damit beginnt die Entstehung der Versumpfung. Auch können Anschwemmungen am Orte der Ausmündung, Pflanzenvegetationen, Pflanzenbarren den Abfluss beeinträchtigen.

Als Quellen des Wassergehalts der Stümpfe müssen Niederschläge angesehen werden, die dann in einem bestimmten Ueberschuss gegenüber der Verdunstung und der Abflussmenge vorhanden sein müssen. Diese Niederschläge können entweder direct der Localität angehören, auf welcher sich der Sumpf etablirt, oder sie können auch von der Umgebung, den benachbarten Höhen ober- oder unterirdisch zugeführt werden. Auf diese Weise kann auch das Grundwasser schliesslich zur Versumpfung einer Localität führen, wenn es auf einer Bodenschicht zu Tage tritt, die demselben keinen oder nur einen erschwerten Ablauf gestattet.

Aber auch Bäche, Flüsse und Meere liefern den Stümpfen das Wasser theils durch Ueberschwemmungen, theils durch seitliche Einsickerung des Wassers, besonders wenn sich in der Nachbarschaft Becken, Mulden befinden, die als Reservoirs das Wasser aufnehmen. Die Wasseransammlung wird um so grösser sein, wenn die erwähnten Zustände der Flussbetherhöhung eintreten.

### *10. Zur Bedeutung der Grundwasserschwankungen.*

Die hygienische Bedeutung der Grundwasserschwankungen wird in verschiedenen Momenten gesucht, von denen wohl sicher viele erst in combinirter Wirkung zur Geltung kommen.

Es wurde vielfach auf die Aenderungen in den Beziehungen zwischen Luft und Boden hingewiesen, die sich durch die Veränderung des Wassergehalts im Boden ergeben. Beim Ansteigen des Grundwassers werden früher lufthaltige Schichten durch Anfüllung mit Wasser luftleer; beim Absinken tritt das Umgekehrte ein.

Auch die Aenderungen in den Permeabilitätsverhältnissen wurden in Betracht gezogen, die dann entstehen, wenn beim Sinken Grundwassers nicht blos neue Bodenschichten für Luft zugänglich werden, sondern solche, die, früher schon etwas permeabel, nun durch weitere Verminderung des Wassergehalts ihre Permeabilität ausserordentlich steigern (S. 45). Der Ablauf gewisser, mit der An- oder Abwesenheit von Sauerstoff verknüpfter Zersetzungs Vorgänge, sowie mancher Lebensvorgänge niederer Organismen musste hierdurch modi-

feirt, die Communication mit der Oberfläche begünstigt und vermehrt werden, wenn auch solche Veränderungen nur ganz allmählich eintreten.

Es ist gegenüber diesen Erwägungen auf die Ausführungen von S. 218 hinzuweisen, nach welchen die Luftcirculation im Boden auf den Transport von niederen Organismen aus der Tiefe an die Oberfläche kaum von Bedeutung ist.

Wichtiger sind vielleicht die mit zunehmender Austrocknung des Bodens sich etablirenden Sprünge, Risse (S. 124), die in grössere Tiefen reichen und eine directe Communication mit tieferen Schichten und einen directen Transport von Keimen aus denselben ermöglichen (vergl. S. 41 die Erfahrung bezüglich des Malariabodens in Italien).

Auch auf den Wechsel in der Concentration der im Boden enthaltenen löslichen Stoffe, sowie auf das durch die Feuchtigkeitsschwankungen bedingte wechselnde Verhalten zur Wärme wird aufmerksam gemacht, als auf Momente, die insofern einen Einfluss haben können, als sie wieder die Lebensthätigkeit niederer Organismen beeinflussen.

Mit Rücksicht auf die organisirte Natur der Infectionserreger und die Abhängigkeit ihrer Entwicklung und Lebensthätigkeit ist die von PETTENKOFER festgestellte Thatsache von grosser Bedeutung, dass wir in den Grundwasserschwanungen einen Maassstab für die Feuchtigkeit der oberhalb des Grundwassers befindlichen Bodenschichten besitzen. Freilich muss hier die Einschränkung Platz greifen, dass dieser Maassstab nur unter gewissen Verhältnissen gegeben ist (vergl. S. 311), und dass es noch ausgedehnter specieller Untersuchungen bedarf, um aus den Grundwasserschwanungen etwa auf jenes biologische Optimum zu schliessen, das, wenigstens bei manchen Organismen, die Bildung von Dauerformen (S. 232) beschleunigt. Das Grundwasser kann uns aber in allgemeinen Fällen, wo es nach PETTENKOFER als Maassstab für den Feuchtigkeitsgrad der oberhalb desselben befindlichen Bodenschichten zu gelten hat, als ein weiterer, nicht minder wichtiger Index gelten, als ein Maassstab für die Richtung, in welcher gewisse capillare Strömungen in den obersten Bodenschichten vor sich gehen. Ein anhaltendes Sinken des Grundwassers ist der Ausdruck für andauernde, nach aufwärts gerichtete Bewegungen des Bodenwassers, für anhaltende und mächtige, aufsteigende capillare Strömungen, die gerade in den obersten Bodenschichten sich immer wieder erneuern müssen, wo nächtliche Condensationen und zeitweilige Niederschläge immer wieder eine Anfeuchtung hervorrufen, eine capillare

Erfüllung der Hohlräume, die dann aber nicht in grössere Tiefen hinabsteigt, sondern bei der sich immer mächtiger entwickelnden „Verdunstungszone“ (HOFMANN), nur in den oberflächlichsten Bodenschichten verharret, und daselbst rasch wieder zur Verdunstung gelangt (vergl. S. 309).

Die Bedeutung dieser Vorgänge für den Transport, den Austritt von Organismen ist auf S. 221 ff. ausführlich auseinandergesetzt worden; es kommt aber noch ein weiteres begünstigendes Moment hinzu, die mit dem Wachsen der Verdunstungszone immer mehr zunehmende Möglichkeit der Verstäubung der obersten Bodenschichten.

Umgekehrt muss das anhaltende Steigen des Grundwassers als der Ausdruck einer fortdauernden Abwärtsbewegung des Wassers im Boden angesehen werden bei immer abnehmender Verdunstungszone, eine Abwärtsbewegung, der dann auch die Organismen sich anschliessen und auf diesem Transporte wohl bald zu Grunde gehen.

Aus diesen Erwägungen geht auch hervor, warum ein Absinken des Grundwassers, das künstlich durch gesteigerten Abfluss hervorgebracht wird, von ganz anderem Gesichtspunkte betrachtet werden muss. Es kann vorerst ganz ohne jeden Einfluss sein, da es ja nicht das Resultat der Verdunstung und der durch sie bedingten capillaren Aufwärtsbewegung des Wassers ist, im Gegentheil, dadurch, dass es drainirend wirkt, dass es in den Wassermassen des Bodens eine absteigende Bewegung bewirkt, kann es von ähnlichen Erscheinungen begleitet sein, wie das Ansteigen des Grundwassers, und die wohlthätigen Folgen der Drainirung des Bodens und der damit einhergehenden Regulirung des Grundwasserstandes sind vielleicht darauf zurückzuführen, dass hierdurch die Abwärtsbewegung des Wassers im Boden befördert und erleichtert wird.

Für die Wahl der Brunnen, oder der Beobachtungspunkte für Grundwasser überhaupt, sind aus diesen Gründen für hygienische Zwecke etwas andere Gesichtspunkte maassgebend als für bautechnische; es müssen alle Momente eliminirt sein, die den Grundwasserstand allein oder in etwas anderer Weise beeinflussen als die Bodenfeuchtigkeit; es muss deshalb auf die Configuration der undurchlässigen Schicht, ihren Abfall, auf die Beziehungen des Grundwassers zum drainirenden Wasserlauf, zum Niederschlag, zur Verdunstung Rücksicht genommen werden. Gerade in der Nähe der Flüsse ist ein Moment gegeben, welches oft die Benutzung des Grundwasserstandes als oben erwähnten Maassstab unmöglich macht (S. 311).

Brunnen und Stationen, die innerhalb der Stauhöhe von Flüssen liegen, sind für hygienische Zwecke nur mit äusserster Vorsicht zu verwerthen. Das Steigen und Fallen von Flüssen erfolgt vielfach aus ganz anderen als rein localen Gründen; es werden mit demselben die Niederschläge aus weit entfernten Gebieten abgeführt, und fehlt auch deshalb vielfach, wie



S. 312 gezeigt wurde, die Uebereinstimmung mit dem Grundwasserstand. Es ist deshalb nothwendig, bevor man einen Brunnen zu Beobachtungszwecken auswählt, denselben auf den Brunnenspiegel einzunivelliren. Kommt der Brunnenspiegel dem Flussspiegel sehr nahe, so ist er meist für hygienische Grundwasserbeobachtungen nicht geeignet.

Von nicht geringer Wichtigkeit ist es ferner, zu wissen, ob vielleicht mehrere wasserführende Schichten über einander liegen (Cap. III Berlin und Paris). Es gibt Orte, an denen man in geringer Tiefe (10—12') schon auf Wasser stösst, welches aber für gewöhnlich nur eine geringe Mächtigkeit besitzt, sodass man es für Anlage von Pumpbrunnen nicht benutzen kann. Man muss dann oft noch 20 und 30' tiefer gehen, um in Schichten zu gelangen, welche so viel Wasser führen, dass sie den Bedarf für gewöhnliche Pumpbrunnen liefern können (Unterschichtquellen S. 250). Das oberhalb befindliche Wasser führt an manchen Orten den Namen „Schichtwasser“, auch „Schwitzwasser“. In solchen Fällen ist es gerade von hervorragender hygienischer Wichtigkeit, auch dieses Schichtwasser während verschiedener Jahreszeiten und Jahre zu beobachten und eigens einige Brunnen für diese Beobachtungen anzulegen, welche blos bis zur Tiefe des Schichtwassers niedergehen. Diese Brunnen können durch Jahre hindurch einen höchst unbedeutenden Wasserstand zeigen, vielleicht ganz wasserleer sein; aber dann können Zeiten kommen, in welchen das Wasser in ihnen 3 und 4' höher steht. Im Allgemeinen sind aber Brunnen mit derartig wechselnden Bodenschichten zu Grundwasserbeobachtungen nicht recht geeignet: dort, wo z. B. zwischen Oberfläche und Brunnenspiegel undurchlässige Schichten eingeschaltet sind, kann die Höhe desselben nicht mehr als ein richtiges Maass für die Feuchtigkeithöhe der oberflächlichen Bodenschichten angesehen werden<sup>1)</sup>.

Von den Grundwasserschwankungen als Momenten der örtlichen und zeitlichen Disposition für die epidemische Ausbreitung von Krankheiten siehe „Volkskrankheiten“ Cap. III.

### DRITTES CAPITEL.

#### Zur Beurtheilung des Bodens.

Die Beurtheilung eines Bodens vom hygienischen Standpunkte kann nicht in der Weise, wie dies in früherer Zeit versucht worden, erfolgen, dass man etwa die einzelnen Bodenarten, wie Thonschiefer, Kalkstein, Kreide, Kies u. s. w., als gesund oder ungesund classificirt (vergl. S. 237). Es kann eine jede dieser Bodenarten durch gewisse Verhältnisse insaluber werden, und die Erfahrung hat auch andererseits gezeigt, dass manche ursprünglich sehr insalubre Bodenarten vollständig assanirt wurden.

1) PETTENKOPFER, Die Bewegung des Grundwassers in München. Sitzungsber. d. k. bayr. Acad. d. Wissenschaften. 1862, und Aerztl. Intelligenzblatt. 1857.



Wenn wir im Allgemeinen eine Beurtheilung versuchen, soweit es die, mit Rücksicht auf die gesonderte Behandlung der „Volkskrankheiten“ gebotene Beschränkung gestattet, so kann sie nur von jenen Gesichtspunkten ausgehen, ob niedere und speciell pathogene Organismen im Boden vorhanden sind oder in denselben hinein gelangen, sich dort entwickeln oder conserviren und wieder an den Menschen gelangen können.

Mit Rücksicht darauf können wir gleich zwei grosse Gruppen schaffen, die sich deutlich von einander sondern lassen, die impermeablen und die permeablen Bodenarten. (Diesem Gesichtspunkte ist auch bei den Fig. 20, 34, 36 u. 37 verzeichneten Profilen gerecht geworden.) Insofern dem impermeablen Boden die Fähigkeit mangelt, Stoffe, Organismen aufzunehmen, und ferner durch Luft oder durch Wasser mit den Menschen in Contact zu treten, wird er als ein für die Gesundheit indifferenter, also salubrer anzusehen sein. Doch muss auch darauf Rücksicht genommen werden, dass im Laufe der Zeit auch der impermeable Boden, wenigstens oberflächlich (durch Verwitterung z. B.), eine gewisse Porosität und Permeabilität erlangen kann (Canton S. 18).

Dem steht nun der permeable Boden gegenüber, der eben eine Aufnahmefähigkeit für fremde Körper besitzt.

Hier befinden wir uns vor der noch ungelösten Frage, ob der Boden bereits spontan, ohne Hinzutritt des Menschen, Krankheitsstoffe, Krankheitserreger producirt. Viele epidemiologische That-sachen, soweit sie die Malaria betreffen, scheinen dafür zu sprechen; es sind dies besonders jene Vorkommnisse, wo ein vollkommen jungfräulicher, scheinbar noch nie von Menschen betretener Boden bei der ersten Ansiedlung, bei der ersten Bearbeitung eben jene Krankheiten in ausserordentlich heftiger Weise erregt <sup>1)</sup>.

Für eine Reihe anderer Krankheiten, deren Zusammenhang mit dem Boden wir annehmen, scheint es jedoch unerlässlich, dass ein specifischer Keim erst auf und in den Boden gelange, und die Bodenverunreinigung, die ein wichtiges ätiologisches Moment ausmacht, wird wohl hauptsächlich nach dieser Richtung hin wirken, dass sie die specifischen Keime hinzuführt.

Ein Factor nun ist es, das Wasser, das, sowie es überhaupt das Leben, die Entwicklung und auch die Verbreitung von Organismen maassgebend beeinflusst, dies auch im Boden in entschiedener Weise zu thun scheint, und deshalb sind die Beziehungen zwischen

---

1) HIRSCH, Historisch-geographische Pathologie. I. S. 193 ff.

Handb. d. spec. Pathologie u. Therapie. Bd. I. 3. Aufl. r. 2. 3.

Boden und Wasser für die Beurtheilung der Salubrität des Bodens ausschlaggebend.

So werthvoll das Wasser bei der Wahl einer Ansiedelung ist, so dass schon die frühesten Ansiedelungen nur dort stattfanden, wo Wasser auftrat <sup>1)</sup>, so schädigend kann es für diese Ansiedelung sein, wenn es unter eigenartigen Verhältnissen im Boden erscheint.

Unsere Anschauungen über die Nachtheile, die eine übermässige Durchtränkung des Bodens mit Wasser bei grösseren Schwankungen des Wasserreichthums im Gefolge hat, sind auf empirischem Wege gewonnen, und doch gewährt uns die Forschung jetzt allmählich Anhaltspunkte für die Erklärung ihres Einflusses. Es werden in Folge dessen alle jene Bodenarten als bedenklich anzusehen sein, in welchen das Bodenwasser, das Grundwasser der Oberfläche zu nahe tritt, in welchen es ferner grösseren Schwankungen ausgesetzt ist, die es zu gewissen Zeiten aus einer relativen Tieflage nahe an die Oberfläche fördern kann und umgekehrt.

Deshalb bietet schon die Configuration einen allgemeinen Anhaltspunkt zur Beurtheilung des Bodens, und documentirt sich auch der hygienische Charakter hauptsächlich in dem Gegensatz zwischen Elevation und Depression. Während Anhöhen, Hügel, Berge, erhöhte Stadttheile meist keinerlei nachtheiligen Einfluss des Bodens aufzuweisen haben, ist dies in Einschnitten, Mulden, tiefen Thälern um so häufiger der Fall. Die auf S. 272 gegebenen Ausführungen über die Strömung des Grundwassers und über sein Verhalten zur Oberfläche geben uns hierüber Aufklärung, sie zeigen uns, wie gegen das Gebirge meist die das unterirdische Wasser deckende Schicht eine so überaus mächtige ist, während umgekehrt die Einschnitte, die Thäler Sammelpunkte für die Bodenfeuchtigkeit sind, zu denen das Wasser von den benachbarten Höhen zuströmt und so allmählich die ganze poröse Schicht durchtränkt, dass ferner die Bewegung des Wassers, der Abfluss, die Drainage in den höher gelagerten Gegenden entsprechend dem grösseren Gefälle der undurchlässigen Schicht auch eine viel raschere ist. Aber eben weil wir in der Elevation nicht die absolute Höhe des Bodens zu berücksichtigen haben, sondern seine relative Erhebung über das Bodenwasser, kann dieses Gesetz nicht allgemeine Geltung haben. Dadurch, dass die undurchlässige, wasserführende Schicht nicht nur nicht immer horizontal ist, sondern oft auch in ganz anderem Niveau sich bewegt, als das der Oberfläche

---

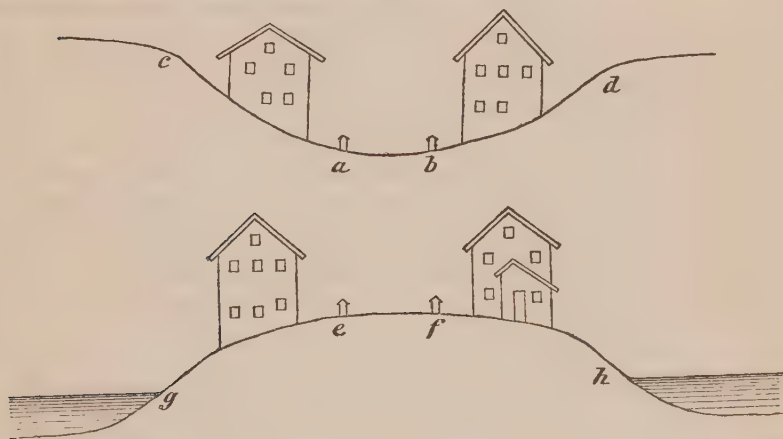
1) TOPLEY, Water Supply in its Influence on the distribution of the Population. Internat. Health exhibition. London 1884.

ist, ja oft ganz entgegengesetzte Schwankungen macht (vgl. S. 255), kann das entgegengesetzte Resultat eintreten, es kann mit der grösseren Elevation sogar die Wassernähe zunehmen oder es kann zum mindesten der Fall eintreten, dass die wasserdichte Schicht in gleichem Winkel mit der porösen Erdschicht steigt, so dass dann trotz gesteigerter Elevation der Abstand von dem Grundwasser derselbe bleibt (vergl. die Profile von Paris [Fig. 36] und Wien [Fig. 37]).

Es sei an einigen Beispielen, die in der Geschichte der Epidemien ihre Rolle gespielt haben, gezeigt, wie oft nahbenachbarte Localitäten sich in diesem Punkte höchst verschieden verhalten.

PETTENKOFER<sup>1)</sup> schildert anlässlich der Choleraepidemie in Bayern 1854 die Verhältnisse zweier Strassen vom Günzberg; der Bachgasse und des sogenannten Gries, einer Insel, welche von zwei Armen der Günz gebildet wird. Die Bachgasse führt nun ihren Namen von einem Bach, dessen Bett in die jetzige Strasse (*ab* Fig. 33) umgewandelt wurde, und

Fig. 33.



der nun oberhalb Günzburg eine andere Richtung erhalten; die Häuser liegen nun auf den zu beiden Seiten aufsteigenden früheren Ufern *ac* und *bd* mit ihrer Front gegen die Strasse. Auf der schmalen Insel dagegen, Gries genannt, zieht die Strasse durch deren mittleren höchsten Theil (*e—f*), das Terrain dacht sich gegen die beiden Arme der Günz ab (*eg* und *fh*). Während also hier ein rascher und leichter Abfluss möglich war und dem Wasser stets eine vom Hause abwärts gerichtete Tendenz inne wohnte, waren in dem anderen Falle die Häuser gerade fast an dem tiefsten Punkte der Drainage der beiden Abhänge gelagert. Es sei hierzu nur bemerkt, dass diese beiden Strassen sich auch der Cholera

1) Hauptbericht über die Choleraepidemie des Jahres 1854 im Königreich Bayern. S. 161.

gegenüber ganz verschieden verhielten; der Gries blieb verschont und in der Bachgasse wüthete die Cholera am heftigsten.

Unter Umständen können auch hochgelegene Punkte, die einen grossen Anstoss von der Drainage zu erleiden haben, ähnlich ungünstig sich verhalten, wie Thäler, Mulden, Einschnitte, während die benachbarten tiefer gelegenen Theile, die besser drainirt sind, sich einer grösseren Salubrität erfreuen. Ein Beispiel bietet hierfür die Stadt Gibraltar <sup>1)</sup>; in den höchstgelegenen Distrikten sind daselbst die Wohnungen terrassenförmig übereinander gethürmt, nicht selten in der Weise, dass die gegen die Bergseite liegende Wand vom Berge selbst gebildet wird, der da von sehr erdiger Beschaffenheit und oft nur von Mörtel oder Brettern bedeckt ist. Diese hochgelegenen Wohnungen sind daher viel feuchter und dumper als die Kasematten am Ufer des Meeres. Ein Umstand trägt noch wesentlich dazu bei, diesen Uebelstand zeitweise zu steigern: das ist die natürliche Drainage der Oberfläche des Berges nach diesem Theile der Stadt zu. Unmittelbar oberhalb der Stadt finden sich auch zwei sehr grosse Mulden ausgeprägt, welche die Drainage der westlichen Abdachung des Felsens in grosser Ausdehnung sammeln und wesentlich auf die obersten Theile der Stadt concentriren und ausgiessen. Diese Stadttheile leiden nun bei jeder Gelegenheit und speciell bei den Choleraepidemien weit mehr als andere.

In vielen solchen Fällen wird es übrigens wesentlich auf die Streichungsrichtung der Schichten ankommen, ob wir es mit isoklinen, antiklinen oder synklinen Schichten zu thun haben, da hiervon die Richtung der Wasserströmung abhängt (S. 251).

Derartige Momente verlangen ihre volle Berücksichtigung, die sie aber nicht immer gefunden, trotzdem bereits HIPPOKRATES <sup>2)</sup> anempfiehlt: „Man untersuche weiter das Erdreich, ob es nämlich nackend und arm an Wässern, oder ob es thonig und wasserreich, und ob es in einem Thal und dumpfig oder hochliegend, der Witterung blossgestellt und kalt sei.“

Die Folgen der Vernachlässigung dieses Principes bei der ersten Wahl des Ansiedelungsplatzes äussern sich nur zu häufig und LIND <sup>3)</sup> verleiht seinem gerechten Zorn über die ungünstige Anlage Batavias in drastischer Weise Ausdruck: „Es ist unmöglich, ohne Erstaunen zu sehen, dass die Unwissenheit und Dummheit der Erbauer grosser Städte und der Befehlshaber grosser Provinzen volkreiche und prächtige Städte dem Unglück ausgesetzt haben, dass sie alle Jahre von einer pestartigen Krankheit verwüstet werden; das ist der Fall, in welchem sich Batavia zu befinden scheint.“ Auch heute noch wird es eine der wichtigsten Aufgaben für Förderung der Colonialbestrebungen sein, die richtige Wahl der Localität für die erste Niederlassung zu treffen, damit dieselbe nicht das Schicksal der Stadt Salpia erfahre. Von dieser Stadt erzählt VITRUV <sup>4)</sup> 90 a. Chr., dass die Bewohner derselben zu M. HOSTILIUS kamen und ihn baten, er

1) PETTENKOFER, Die Choleraepidemie des Jahres 1865 in Gibraltar. Zeitschrift für Biologie. VI.

2) HIPPOKRATES' Werke. Aus dem Griechischen von J. F. KRIES. Altenburg 1781. Bd. I. Das Buch von der Luft, den Wässern und der Lage.

3) Versuche über die Krankheiten, denen Europäer in heissen Klimaten unterworfen sind. 1773.

4) VITRUVIUS, De architectura.



möge ihnen einen tauglichen Ort zur Niederlassung geben, da sie in ihrer Stadt alle Jahre von Krankheiten heimgesucht würden. M. HOSTILIUS erkaufte nun nach vorhergegangener genauer Untersuchung einen in gesunder Lage am Meere gelegenen Landstrich, den er den Salpinern überliess. Jetzt wohnen diese 4000 Schritte von ihrer früheren Heimath in gesunder Gegend.

In scheinbarem Gegensatz zu dieser Beeinflussung des Bodens durch seine Beziehungen zum Wasser stehen die Beobachtungen, nach denen ganz regenlose oder wenigstens höchst regenarme Gegenden als Brutstätten für Epidemien von Bodenkrankheiten erscheinen, deren Untergrund keine Wasseransammlung aufzuweisen hat, oder wo sich diese letztere wenigstens in sehr grosser Tiefe befindet, so dass eine Beeinflussung der Oberfläche und des Menschen nicht erfolgen kann. HIRSCH führt als Beispiele für solche Ausnahmen die römische Campagna, das sterile Plateau von Neu-Castilien — eine der regenärmsten Steppen Europas —, die Hochebene von Iran, die Araxesebene an.

Es ist einmal bei derartigen Angaben über Wasserarmuth und Trockenheit des Bodens auf den Zusammenhang zu achten, den das unterirdische Wasser einer Localität mit Gebieten besitzt, die sehr weit von dieser letzteren entfernt sind, und sei bezüglich der römischen Campagna auf die von TOMMASI-CRUDELI entwickelte Anschauung der unterirdischen Wassercirculation hingewiesen (S. 277).

Dann aber werden wir zu berücksichtigen haben, dass gerade in diesen Gegenden, wo die Abwesenheit des Wassers den Eintritt von Temperaturextremen befördert, die als Folge der nächtlichen Abkühlung eintretende Condensation von Wasserdampf an der Oberfläche wohl eine Rolle spielt. COLIN bemerkt, dass in der Campagna ganz exquisite Nebel jeden Morgen den Fuss der Berge, die das Becken Roms begrenzen, einhüllen, und die Salubrität der Häuser auf dem Albaner Berge soll direct ihren Grund darin haben, dass sie über diese Nebel emportauchen. Die Tiefe, in welche dieses Condensationswasser eindringen wird, wird wohl keine bedeutende, und der Wassergehalt wird nicht jene Höhe erreichen, um nicht durch die am Tage sich etablirende Verdunstung wieder zu verschwinden; immerhin liegt jedoch die Möglichkeit vor, dass zeitweilig durch einige Stunden Feuchtigkeitsgrade existiren, wie sie für die Entwicklung oder Conservirung der niederen Organismen nothwendig sind. Es wäre erwünscht, wenn die meteorologischen Untersuchungen in derartigen Gegenden auch nach dieser Richtung hin geführt würden.

Dass sich derartige Gelegenheiten zur Condensation des in der Luft befindlichen Wasserdampfes an der in der Nacht sich rasch und stark abkühlenden Bodenoberfläche auch in regenlosen und scheinbar ganz

trockenen Gebieten (selbst in Steppen und Wüsten) finden muss, wird aus den S. 141 erörterten Temperaturverhältnissen der Bodenoberfläche ersichtlich. Wir besitzen allerdings nur wenige Messungen der täglichen Temperatur der Bodenoberfläche und ihrer Amplitude, aber schon die tägliche Amplitude der Lufttemperatur gibt uns die nöthigen Anhaltspunkte. Es ist schon wichtig, zu erfahren, dass z. B. in Madrid, wo es lange Perioden grösster Dürre gibt, eine grosse tägliche Amplitude der Temperatur besteht (Julimittel  $14^{\circ}$ ), dass die stündliche Temperaturänderung bis  $2,4^{\circ}$  beträgt (Juli 7—8 a. m.)<sup>1)</sup>. In der Sahara, im Innern Australiens, auf den asiatischen Hochplateaus ist diese tägliche Temperaturschwankung noch viel grösser<sup>2)</sup>. ROHLFS fand den mittleren Temperaturunterschied (Lufttemperatur und nicht Bodentemperatur, deren Amplitude ja noch viel höher ist, Fig. 5, S. 144) zwischen Sonnenaufgang und 3 h. p. m. in Murzuk selbst im Wintermittel zu  $15,5^{\circ}$ , in Char-tum ( $15\frac{1}{2}^{\circ}$  n. Br., 386 Meter Seehöhe) beträgt die tägliche Wärmeschwankung in der trockenen Zeit  $14$ — $16^{\circ}$  C., in der Oase Kufra (ca.  $25^{\circ}$  n. Br., 500 Meter Seehöhe) betrug dieselbe im Mittel eines Monats (15. Aug. bis 14. Sept.) sogar  $22,2^{\circ}$ . NACTIGAL beobachtete im Sommer in der Wüste zwischen Murzuk und Kuka durchschnittlich tägliche Temperaturamplituden von  $19$ — $22^{\circ}$ , LIVINGSTONE im Innern Südafrikas durchschnittlich Temperaturdifferenzen zwischen Sonnenaufgang und Mittag im Juni von  $26,6^{\circ}$ , die bis zu  $30$ — $40^{\circ}$  steigen können. Am 25. Dec. 1878 beobachtete ROHLFS zu Bir Milrha (südlich von Tripolis) am Morgen  $-0,5^{\circ}$  C., am Nachmittag  $37,2^{\circ}$ . Dr. EMIN sagt vom Juli und August (1876) zu Rubaga am Victoria Nianza ( $5^{\circ} 6'$  n. Br.), die Nächte seien in dieser Jahreszeit „furchtbar“ kalt. Dr. PERRIER fand am Morgen des 25. Mai 1840 in der algerischen Sahara um seine Zelte den Boden mit Reif bedeckt, um 2 h. p. m. dagegen  $31,5^{\circ}$  im Schatten, und MITCHELL hat in Nordwest-Australien am 2. Juni Morgens bei Sonnenaufgang  $-11,6^{\circ}$ , um 4 h. Nachm. aber  $19,4^{\circ}$  beobachtet.

Bringen wir nun mit diesen Daten in Zusammenhang die Grösse der absoluten Feuchtigkeit der Luft in diesen Gegenden, aus der wir erfahren, bis zu welchem Grade die Abkühlung erfolgen muss, damit eine Condensation, damit die Luft ihren Thaupunkt erreicht. In den Steppen und Wüsten von Südwestsibirien und Westturkestan (Orenburg  $52^{\circ}$  n. Br., Barnaul  $53\frac{1}{2}^{\circ}$  n. Br., Nukuss  $42\frac{1}{2}^{\circ}$  n. Br., Yarkand  $38\frac{1}{2}^{\circ}$  n. Br., 1257 Meter Seehöhe) entspricht die absolute Luftfeuchtigkeit im Julimittel einer Tension von  $10,2$ — $12,3$  Mm., so dass bei einer Temperaturerniedrigung auf nur  $+11,7$  bis  $14,5^{\circ}$  Condensation eintreten müsste. ROHLFS hat in Ghadamas einen Dunstdruck von  $9,8$ — $11,9$  Mm. beobachtet, was einem Thaupunkt von  $11,1$ — $14,0^{\circ}$  entspricht, in der Oase Kauar mitten in der Sahara eine Tension von 13 Mm. =  $15,4^{\circ}$  Thaupunkt und in der Oase Kauar im August eine Tension von 8,3 Mm. =  $8,3^{\circ}$  Thaupunkt, im September eine Tension von 10,1 Mm. =  $11,5^{\circ}$  Thaupunkt. Auf diese Weise muss es bei den starken nächtlichen Abkühlungen zu ausgedehnter Condensation kommen.

1) WOEIFKOFF, Die Klimate der Erde. Jena 1887.

2) HANN, Handbuch der Klimatologie.

In diesen Momenten, die wir soeben als maassgebend für die hygienische Beurtheilung des Bodens hervorgehoben haben, liegen nun ferner die Gesichtspunkte für die Assanirung eines Bodens. Allerdings sollte schon die Wahl des Bodens, des Bauplatzes die Assanirung überflüssig machen. Es wird dies aber oft unterlassen, und da müssen wir denn nach zwei Richtungen auf den Boden einzuwirken suchen: auf seinen Gehalt an niederen Organismen, besonders soweit es sich um pathogene, in demselben entwicklungsfähige oder conservirbare Organismen handelt, und auf den in demselben befindlichen Wassergehalt.

Die Maassregeln, die mit Rücksicht auf diese beiden Momente genommen werden, stimmen zum Theil mit einander überein.

Um den Boden rein und möglichst organismenfrei zu erhalten, werden wir sorgfältig ein jedes Eindringen der Abfallstoffe des menschlichen Haushalts zu vermeiden suchen, und also eine sorgfältige Entwässerung des Hauses und seiner Umgebung vornehmen.

Um jedoch das Wasser zur nöthigen Tiefe herabzusenken und die Schwankungen zu reguliren oder wenigstens ihren Einfluss abzuschwächen, werden wir eine sorgfältige Entwässerung, Drainage, unter Umständen eine vollständige Trockenlegung des Bodens etabliren, welche den Abfluss beschleunigt, das Wasserniveau erniedrigt und dem Wasserströme eine constant absteigende Tendenz anweist; eine rationelle Cultur des Bodens und unter Umständen auch Anpflanzungen werden diese Bemühungen unterstützen.

### Geologische Profile einiger Hauptstädte Europas.

Die folgenden Bodenprofile sollen es ermöglichen, einige Anhaltspunkte zur Beurtheilung der verschiedenen Gebiete einer Stadt zu geben, insbesondere insoweit es sich um die Beschaffenheit der obersten Schichten, ihre Configuration, ihre mechanische Structur, ihre Erhebung über das Grundwasser handelt. Mitunter bieten solche Darstellungen Anhaltspunkte für die Erklärung mancher epidemiologischer Thatsachen, mitunter auch für das Ergreifen von Assanierungsmaassregeln.

#### 1. Berlin.

Berlin <sup>1)</sup>, sowohl in oro- und hydrographischer, als auch in geologischer Beziehung in untrennbarem Zusammenhange mit dem norddeutschen

1) Das auf Fig. 34 dargestellte, des Buchformates wegen in vier Theile zerlegte Profil ist dem Kartenwerke entnommen: „Geologische Karte der Stadt Berlin,



Tief- und Flachlande, einem Theile jener weiten Niederung, welche, von Holland aus bis tief in das baltisch-sarmatische Russland sich erstreckend, den Norden Europas von der Mitte des Continentes scheidet, bildet einen gewissen, naturgemässen Mittelpunkt dieses Flachlandes, welches sich mit kaum merklicher Neigung, nur durch niedrige, bald breitere, bald schmälere Höhenrücken sanft geschwellt, mehr noch durch zahlreiche Wasser- rinnen und Seebecken gefurcht, von den Nordgrenzen des mitteldeutschen Berglandes nach der Nordsee und Ostsee hinabzieht.

Mächtige Massen von Sand, Grand (Grus), Geschiebelehm, Mergel, Thon von verhältnissmässig, gegenüber dem Felsboden des deutschen Berglandes lockerer Beschaffenheit, setzen mit Wiesen, Moorerde und anderen pflanzenmoderhaltigen Gebilden den Boden dieser ausgedehnten Niederung fast ausschliesslich zusammen. Sie gehören den beiden jüngsten Schichtengruppen an, welche die Geologie unterschieden hat: dem Alluvium oder den Bildungen, die sich eng an die Vertheilung unseres gegenwärtigen Fluss- und Wassernetzes anschliessen und zum Theil noch fortwährend innerhalb desselben abgesetzt werden, und dem zeitlich unmittelbar vorhergehenden, glacialen Diluvium.

Es ist schon auf S. 270 auseinandergesetzt worden, warum sich hier die so einfachen Verhältnisse der glacialen Ablagerungen, wie sie sich in München gezeigt haben, nicht wiederholen.

Der Boden von Berlin gehört derjenigen natürlichen Theilgruppe des norddeutschen Tieflandes an, welche hauptsächlich die Wassergebiete der Havel und Spree umfasst und vom alten Uferrand des Lausitzer Gebirges im Süden bis zu der Ostseeküste zwischen der Lübschen Bucht und dem Stettiner Haff im Norden reicht. Oestlich bilden der Unterlauf der Oder und in seiner Fortsetzung die Thäler des Queiss und des Bober, südwestlich und westlich die Niederung der schwarzen Elster und das Elbthal bis Lauenburg abwärts, von da die Stecknitz und Trave bis zur Ostsee die Grenze.

nebst 4 Tafeln (Profile). Atlas zu Heft XIII des Werkes „Reinigung und Entwässerung Berlins“, von K. A. LOSSEN“. Es ist das Profil XII dieses Werkes und wurde es einestheils deshalb gewählt, weil es die eigentliche Stadt von Süd nach Nord durchschneidet, andererseits, weil es von allen diesen Profilen die grösste Zahl der zur Feststellung der Grundwasserniveaus dienenden Brunnen enthält.

Es ist in dieses Profil der höchste und der tiefste Grundwasserstand innerhalb der Jahre 1870/85 eingezeichnet, und zwar auf Grund von zwei noch nicht durch den Druck vervielfältigten Stadtplänen, in welche die Horizontalcurven des höchsten und niedrigsten Grundwasserstandes eingezeichnet und die auf der wissenschaftlichen Ausstellung von Apparaten und Instrumenten der Naturforscherversammlung in Berlin von Seite der Stadt Berlin ausgestellt waren. Sie wurden mir in bereitwilligster Weise behufs Verwerthung zur Verfügung gestellt.

Die geologische Charakterisirung lehnt sich theils an das Werk: „Der Boden der Stadt Berlin“ von K. A. LOSSEN. Berlin 1879, an, theils an das Capitel: „Der Boden Berlins und seiner Umgebung“ der Festschrift, dargeboten den Mitgliedern der 59. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte von den städtischen Behörden, sowie an das Werk: „Der Boden der Hauptstädte Europas“ von F. KARREER. Wien 1881.



In den Diluvialbildungen des norddeutschen Tieflandes unterscheidet man nun zwei Systeme: das ältere oder nordische und das jüngere oder einheimische.

Das ältere oder nordische Diluvium (Fig. 34 *ds, dg, du*) ist unter allgemeiner Eisbedeckung, welche von Skandinavien bis hoch an die Gehänge des mitteldeutschen Gebirgslandes reichte, zum Theil aber auch durch Wirkung von rinnendem Wasser gebildet und besteht theils aus den Grundmoränen der skandinavischen Gletscher, dem Geschiebelehm mit seinen grossen erratischen Blöcken, theils aus den fluvio-glacialen Bildungen, aus Sanden, Thonen, Grand u. s. w., welche von den der nordischen Eismasse entströmenden Wässern abgelagert wurden.

Das jüngere Diluvium (Fig. 34 *do*) verdankt seine Entstehung theils fliessendem Wasser, theils dem atmosphärischen Niederschlage und ist grossentheils im engen Anschluss an das Erosionsgebiet des heutigen Wassernetzes, besonders an dessen Oberlauf abgelagert, beginnt daher erst mit der Annäherung an das Gebirgsland des Harzes, bei Halle, Dresden u. s. w. eine Rolle zu spielen.

Das Alluvium (Fig. 34 *as<sub>1</sub>, as<sub>2</sub>, as<sub>3</sub>*) ist ein durch Absatz aus Wasser gebildetes Depot anorganischer Materialien. Man rechnet aber auch Bildungen organischer Natur dazu, wie die Wiesenerde, und endlich die Flugbildungen.

Der Flugsand (Fig. 34 *ah*), der Dünensand hat keine bestimmte Bildungszeit, er liegt bald auf alter, bald auf junger Alluvion, in langgestreckten Hügeln und Ketten, die oft harmoniren mit benachbarten Wasserläufen, Luchen oder Fennen.

Die Torfbildungen, Wiesenerde und Modergründe oder die Bacillarerde sind jungalluviale Bildungen (Fig. 34 *amb, asm*), die in Vertiefungen des alten Alluviallandes lagern.

Die beiden, die Stadt einschliessenden Hochflächen, die des Teltow im Süden, des Barnim im Norden, können nun als diluviale Hochflächen bezeichnet werden. Die Oberfläche beider besteht in der Hauptsache aus einem lehmigen Sande, unter welchem zunächst der allbekannte, zu häuslichen wie Bauzwecken vielbenutzte Lehm und bei 1,5 — 2 Meter Tiefe regelrecht der Geschiebemergel selbst folgt, als dessen Vermittlungsrinde Lehm und lehmiger Sand anzusehen sind. Unter diesem Geschiebemergel, im gewöhnlichen Leben auch Lehmmergel genannt, der also den bei weitem grössten Theil beider Hochflächen und zwar bis auf 2—6 Meter Tiefe bildet, folgen, an den Thäländern heraustretend, Sande, die besonders am Kreuzberg, in der Hasenheide und den Rollbergen bei Rixdorf mächtig entwickelt sind, grosse Kieslager einschliessen und in ausgedehnten, bereits tief ins Plateau sich hineinziehenden Gruben gewonnen werden.

Mit dem erst in grösserer Tiefe das Grundwasser führenden lehmigen Boden der Höhen contrastirt aufs lebhafteste der durchlässige, feuchte, dasselbe in geringer Tiefe zeigende sandige, zum Theil auch moorige Boden der Niederung, auf welchem das gesammte ältere Berlin, d. h. das Berlin vor 1870, liegt.

Drei verschiedene, durch die geognostischen Verhältnisse bedingte Höhenstufen mit abnehmender Grundwasserstandstiefe können auch hier

noch unterschieden werden und erregen um so mehr das Interesse, als sie in Wirklichkeit durch Abtragen und Aufschütten innerhalb der Stadt bereits völlig ausgeglichen und dem Auge längst unkenntlich gemacht sind.

1. So verwischen, die höchste Thalstufe bildend, Flugsande (*ah*) im Norden der Stadt, von der Neuen Hochstrasse beim Wedding beginnend, längs der Acker- und der Lothringer Strasse bis in die Nähe des Friedrichshains durch ihre Anwehung das plötzliche Ansteigen des nördlichen Thalrandes in etwas; so zog sich beispielsweise vom zoologischen Garten bis zur Hasenheide eine lange Kette kahler Flugsandhügel, im Zuge der Kurfürsten- und Steglitzer-, Teltower- und Pionier-, jetzt Blücherstrasse hin.

2. Dagegen liegt auf dem, die zweite Terrainstufe bildenden, völlig ebenen Thalsande (*as<sub>1</sub>*, *as<sub>2</sub>*, *as<sub>3</sub>*) beispielsweise die ganze Leipziger Strasse, wie überhaupt der grösste Theil der darum so regelmässigen Friedrichstadt zwischen Koch- und Behrenstrasse. Deutlich treten ferner, vom Thalsand gebildet, die beiden Inseln des alten Berlin und Kölln an der Spree heraus (vergl. Fig. 34 b u. c).

3. Die tiefste Stufe endlich bilden die zahlreichen jüngeren Rinnen, welche, mit verschiedenen alluvialen Bildungen, vielfach Mooreerde oder Torf, erfüllt, schon einen wesentlich ungünstigeren Untergrund abgaben (*amb*, *asm*). Sie sind gerade unter Berlin häufig: das Dreieck zwischen Askanischem Platze, Augusta- und Grossbeeren-Brücke ist z. B. eine zusammenhängende Torffläche, von der zwischen Friedrich- und Wilhelmstrasse eine Bucht bis zur Puttkammerstrasse reicht.

Noch schlimmerer Baugrund waren und sind die Flächen, in denen die sogenannte Infusorien- oder richtiger Diatomeenerde auftritt. In mehr oder weniger mächtigen reinen Ablagerungen finden wir sie meist entlang der Spree, von der Jannowitzbrücke einerseits über den Spittelmarkt, andererseits über den Alexanderplatz in fast ununterbrochenem Zuge durch Georgen- und Dorotheenstrasse, längs Schiffbauerdamm und Kronprinzenufer bis hinab zum Bahnhof, Thiergarten und der Borsig'schen Eisengiesserei in Moabit. Aber auch in isolirten Becken mit Mooreerde gemischt, als sogenannte „Moddererde“, zeigt sie sich mehrfach, namentlich zwischen dem Halleschen Thore und dem Schlossplatz.

Glieder der Tertiärformationen sind innerhalb Berlins und seiner nächsten Umgebung nirgends zu Tage tretend gefunden, sondern ausschliesslich in einer Reihe von Bohrungen (17), welche die Erschötung von Trinkwasser erstrebten und in den bei weitem meisten Fällen auch erreichten.

Es hat sich bei diesen Bohrungen die interessante Thatsache ergeben, dass in sämmtlichen 17 Bohrlöchern unter der Braunkohlenformation regelrecht Septarienthon lagert, jener hellgraue, fette, kalkhaltige Thon, wie er, in etwa 1½ Meilen nördlich Berlin bei Hermsdorf zu Tage tretend, seit langem bekannt ist und nach den in ihm vorkommenden marinen Schaalresten von BEYRICH als mitteloligocänes Tertiär bestimmt wurde.

Dieses mächtige marine Thonlager bildet also die tiefere Unterlage der gesammten Berliner Gegend. Unmittelbar auf demselben lagert eine

zwischen 35 und 43 Metern schwankende Folge feinsten Quarz- bis Glimmersande, welche als Vertreter des marinen Oberoligocän zu betrachten ist, und demnächst Sande, Letten und Kohlen der märkischen Braunkohlenbildung.

Die Grundwasserverhältnisse in Berlin bieten aus den auf S. 270 angeführten Gründen kein so einfaches Bild, wie sich dies auf der bayrischen Hochebene und in München präsentirt. Die bedeutende Mächtigkeit der Diluvialbildungen, bei einer im Grossen und Ganzen wohl horizontalen, im Einzelnen aber welligen Lagerung, die, soweit bekannt, überaus grosse Unebenheit ihrer unteren Grenzfläche und ganz besonders die Unbeständigkeit der inneren Gliederung innerhalb derselben engen Raumgrenzen, und die daraus folgende Unsicherheit über die in einem bestimmten Niveau unter der Unterkante des Oberdiluvium zu erwartende Mächtigkeit und petrographische Beschaffenheit der einzelnen Formationsglieder, sind nach LOSSEN die Schwierigkeiten, die einer klaren wissenschaftlichen Beurtheilung der geologischen Zusammensetzung und damit wohl auch der hydrographischen Verhältnisse des Berliner Bodens entgegenstehen. Das Wesentlichste, was sich aus den Beobachtungen der Grundwasserschwankungen der letzten 16 Jahre ergeben hat, sei hier angeführt.

Fig. 34 (a—d) (S. 332 u. 333) bringt eine in das Profil Berlins (LOSSEN, geologische Karte der Stadt Berlin, Profil XII) eingezeichnete Darstellung des in diesem 16jährigen Zeitraume beobachteten höchsten und tiefsten Grundwasserstandes<sup>1)</sup>, zu dessen Erläuterung Folgendes dienen mag:

Das Altalluvium selbst ( $as_1$ ,  $as_2$ ,  $as_3$ ) besitzt keine wasserundurchlässigen Ablagerungen; die diluvialen Geschiebelehme ( $du$ ) und der Diluvialthon, die diese Beschaffenheit wenigstens in relativ hohem Maasse haben, sind gleichfalls nur höchst selten die unmittelbare Unterlage des Bodens der Thalsandwanne, sie liegen entweder über der Nulllinie der Spree (Barnim und Teltow, auf dem Profil Fig. 34 nicht mehr dargestellt) oder sehr viel tiefer; in ersterem Falle bedingen sie, da sie am Uferrande anstehen, Seitenzuflüsse des Einsickerungswassers aus dem Diluvialplateau in das Altalluvium hinein. Die wesentliche Unterlage des Thalsandes ( $asm$ ,  $ah$ ,  $as_1$   $as_2$   $as_3$ ) ist das diluviale Grand- und Sandlager ( $ds$  und  $dg$ ), Ablagerungen, die eine Wassercirculation theils erleichtern, theils ihr wenigstens keinen bedeutenden Widerstand entgegensetzen.

---

1) Vergl. Anmerkung S. 327 f.









Der Grundwasserstand im Altalluvium steigt im Allgemeinen gegen die diluvialen Ufer hin an und neigt sich gegen die Hauptentwässerungsrinne der Spree. Der Abstand zwischen Bodenoberfläche und Grundwasserniveau beträgt innerhalb des im Profil 34 (a—d) dargestellten Bereiches der Niederstadt bei höchstem Grundwasserstand 1,0—4,8 Meter, bei tiefstem Grundwasserstand 2,5 bis 5,8 Meter.

Im diluvialen Gebiete der südlichen Hochstadt (Teltow) veranlassen die Lehm- und Thonablagerungen innerhalb der Untergrundbank die Bildung zweier Grundwasserzonen, einer oberen, die nur wenig das Niveau des altalluvialen Grundwasserstandes überragt, und einer tieferen, wasserreicheren unter jenen Ablagerungen.

In der nördlichen Hochstadt (Barnim) bewirkt die häufig ausschliessliche lehm- und thonreiche Entwicklung der Diluvialablagerungen häufig das gänzliche Fehlen einer Grundwasserzone, oder aber sie liegt beträchtlich höher als der Grundwasserspiegel des Altalluviums; auch hier gibt es eine Untergrundwasserzone, die an vielen Stellen tiefer steht als der Spiegel des Spreewassers und der Grundwasserspiegel im Altalluvium.

Die Untergrundbank in der Niederstadt (*ds, dg*) nimmt fast durchweg ein tieferes, ja oft ein beträchtlich tieferes Niveau ein als in den Rändern, so dass hierdurch im Allgemeinen eine Bewegung des darin circulirenden Wassers von den Plateaurändern gegen die Mitte der Niederstadt zu bewirkt wird; es prägt sich dies in den beiden Grundwasserlinien des Profils aus, aus denen wir erkennen, dass der Spiegel des Grundwassers, von den natürlichen Wasserläufen angefangen, in der Richtung nach den Thalwänden hin steigt, und dass die Bewegung (Strömung) des Grundwassers mit Gefälle in der Richtung nach den natürlichen Wasserläufen statt hat.

Die unabhängig vom Grundwasser steigende und fallende Spree übt auf den Stand des letzteren einen grossen Einfluss aus, derselbe tritt auch schon im Profil zu Tage, man sieht, wie das Steigen der Spree einen Anstau zur Folge hat, wie sich das ganze Niveau des Grundwassers verflacht, während das Sinken der Spree ein beschleunigtes Abfliessen, ein Sinken des Grundwassers, aber auch gleichzeitig eine Erhöhung der Niveaudifferenz zur Folge hat. Auf der im Profile zur Darstellung gebrachten Strecke beträgt die Niveaudifferenz gegen Süden bei niedrigster Spree und Grundwasserstande 1,7 Meter, bei höchstem dagegen nur 0,1 resp. 0,5 Meter.

Fig. 35 (siehe S. 336) gibt eine graphische Darstellung der Jahresperiode der Schwankungen des Grundwasserstandes und

der Spree, wie sie nach den 16jährigen Beobachtungen sich ergibt <sup>1)</sup>.

Die Curve zeigt uns, dass die beiderseitigen Wasserstände nach Rhythmus ausserordentlich übereinstimmen, nur gehen die Aenderungen in den Schwankungen des Flusses denen des Grundwassers voran. Höchster Spreewasserstand im März; höchster Grundwasserstand im April. Tiefster Spreewasserstand im September; tiefster Grundwasserstand im October. (Denselben Rhythmus und dieselben Beziehungen zu einander haben Grundwasser und Fluss in Bremen, Frankfurt a. M., einem Theile Wiens u. A.)

Die Erklärung für diese Abhängigkeit des Grundwasserstandes vom Stande der Spree, die im directen Gegensatz zu den auf S. 287 angeführten Verhältnissen von München steht, ist leicht zu finden. In München, wo der Fluss tief in die undurchlässige Flinzschicht einschneidet, und von derselben also noch in einer bestimmten Höhe überragt wird, gelangt das Grundwasser ziemlich hoch über dem Flussniveau (auch in Form von Quellen) zum Abfluss (Fig. 20 e). Es werden diese Abflussstellen auch bei Hochstand des Flusses nicht erreicht, und die Folge davon ist jene auf S. 285 ff. eingehend besprochene Unabhängigkeit der beiderseitigen Schwankungen von einander.

In Berlin dagegen liegt die undurchlässige Schicht tief unter der Spree; die Spree fliesst, so wie das Grundwasser in jenen Bodenschichten, die mehr oder weniger durchlässig für Wasser sind, und das Grundwasser senkt sich zum Spreeniveau ab, in welches es allmählich übergeht. Erhebt sich nun das Spreeniveau, so muss sich hier nach dem Gesetz der communicirenden Röhren auch das Niveau des Grundwassers entsprechend erhöhen. Das erhöhte Niveau der Spree wirkt in diesem Falle gewissermaassen als Stauwehr, und diese Stauung muss sich weit nach rückwärts fortpflanzen. Wir müssen uns vorstellen, dass in Folge des Hochstandes der Spree der Abfluss des Grundwassers höher gelegt wird, und dies hat zur Folge, dass die Wassersäule im Boden, die den Abfluss bewirkt und die ja auch noch die Reibung im Boden zu überwinden hat, eine grössere Höhe erreichen muss, bevor sie den nöthigen Druck ausüben kann, um das Wasser zum Abfliessen zu bringen, und eben diese höhere Wassersäule repräsentirt ja den erhöhten Grundwasserstand. Umgekehrt ist ein Tiefstand der Spree mit einer Erniedrigung der Abfluss-

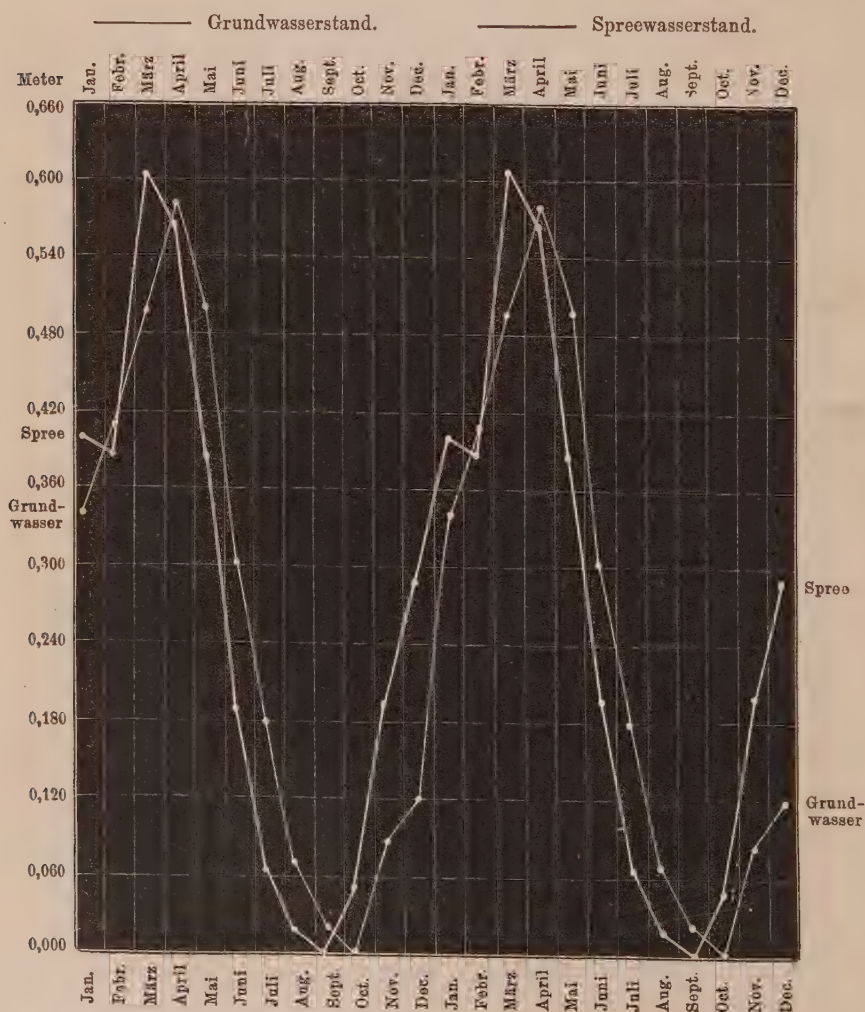
---

1) In den statistischen Jahrbüchern der Stadt Berlin und in den Veröffentlichungen des statistischen Amtes der Stadt Berlin sind die betreffenden Zahlenwerthe angeführt.

Fig. 35.

Jahresperiode des Grundwasser- und des Spreewasserstandes (Dammühle O.-W.)  
in Berlin 1870/85.

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Mittel
Mittlerer Grundwasserstand über dem adriat. Meere in Metern	32,72	32,79	32,88	32,96	32,88	32,69	32,56	32,45	32,40	32,38	32,47	32,50	32,62
Mittl. Spreewasserstand über dem adriat. Meere (Dammühle O.-W.) in Metern	32,49	32,48	32,71	32,66	32,48	32,29	32,16	32,11	32,09	32,14	32,29	32,38	32,35





stelle des Grundwassers zu vergleichen; der Druck der Wassersäule, der nöthig ist, um das Grundwasser zum Abfluss zu bringen, ist ein geringerer, der Grundwasserstand wird also ein niedrigerer.

Der Hochstand der Spree muss natürlicher Weise auch ein Eindringen von Flusswasser in den Boden zur Folge haben, wie dies im Profil nördlich vom Königsgraben (Fig. 34c) bei hohem Grundwasserstand zum Ausdruck kommt.

Dass trotz dieser Beeinflussung des Grundwassers durch die Spree dasselbe als Index für gewisse epidemiologische Beziehungen gelten kann („Volkskrankheiten“ Cap. III), hat seinen Grund darin, dass die localen klimatischen Elemente (Niederschlag, Verdunstung) ziemlich gleichmässig und gleichzeitig auf Grundwasser und Spree einwirken, und dass diese letztere nicht durch meteorische Factoren anderer, entfernter und klimatologisch heterogener Gegenden beeinflusst wird.

In Berlin werden nun ausserdem durch die den Schifffahrtswegen dienenden Anlagen manche nicht unwesentliche Modificationen in den Grundwasserverhältnissen künstlich geschaffen.

Das zwischen den Schleussen gestaute Wasser des Schifffahrtskanals zeigt einen stetigeren Wasserstand als das Ober- und speciell das Unterwasser der Spree, und dies hat einen Einfluss auf gewisse Verschiedenheiten zwischen dem Grundwasserniveau der Nord- und Südrandzone der Niederstadt. Der Grundwasserstand, sowohl der höchste als der niedrigste, nimmt südlich von der Spree constant ein höheres Niveau ein als nördlich, und die Schwankungen sind auf dieser Seite auch viel geringer.

Vergleicht man die Brunnen in einer Entfernung bis zu 1000 Meter nördlich der Spree mit jenen in gleicher Distanz südlich vom Schifffahrtskanal, so findet man bei den Jahresmaximalständen des Grundwassers südlich der Spree ein Ansteigen bis zu 33,94, nördlich der Spree bloß bis zu 32,79 Meter (Differenz 1,15), vergleicht man die Jahresmittel, so erhält man südlich der Spree die Maximalgrößen von 33,74, nördlich von 32,30 Meter (Differenz 1,44, auch in der Grundwasserlinie des Profils ausgeprägt). Besonders deutlich prägt sich auch die Verminderung der Schwankungen, der Amplitude bei den unmittelbar dem Schleussenkanale benachbarten Brunnen aus. Die drei südlich vom Schifffahrtskanal gelegenen Brunnen (VIII, XII und XVII), in der Distanz von 580—700 Meter vom Schifffahrtskanal, zeigten innerhalb der Jahre 1870/85 eine Amplitude der Jahresmittel von 0,43, 0,40, 0,49 Meter, die drei benachbarten Brunnen nördlich vom Schifffahrtskanal (XVI, XXII, XXVI) in ähnlicher Distanz (180, 500, 700 Meter) 0,32, 0,37, 0,30 Meter. (Es sei hinzuge-

fügt, dass die Amplituden bei den anderen Brunnen bis zu 1,34 Meter betragen.)

Die Folgen der Schleussenstauung, die sich in einer dauernden Infiltration des Untergrundes zeigen, treten im Profil (Fig. 34b) beim tiefsten Grundwasserstande in der Nachbarschaft des Schleussengrabens sehr deutlich zu Tage; das Wasser bildet hier einen bis 1,2 Meter sich erhebenden abgestumpften Kegel, dessen Kuppe vom Niveau des Schleussengrabens gebildet wird, und der nach beiden Seiten hin sehr steil abfällt (1,2 auf 20 Meter nach Norden, 1,3 auf 33 Meter nach Süden). Aber auch die aus andauernden Hochwasserständen hervorgehende Hebung des Grundwasserspiegels in der Umgebung der Oberspree hat eine Infiltration des Bodens mit Spreewasser zur Folge, die das Eintreten des Wassers in die Kellergeschosse der Häuser verursacht und als sanitärer Nachtheil empfunden wird <sup>1)</sup>).

Für die Verschiedenheiten im Niveau und in den Schwankungen des Grundwassers der Nord- und Südrandzone der Niederstadt sprechen aber nach LOSSEN noch andere, geologische Gründe, auf die hier noch kurz eingegangen werden muss, da sich in denselben theilweise für die auf S. 300 ff. gegebene Erklärung des Zusammenhanges zwischen Grundwasserstand und Sättigungsdeficit eine Bestätigung findet. LOSSEN findet, dass im südlichen Theile der Niederstadt zweifellos die Neigung und Muldung der wasserführenden Grandbänke des oberen Diluvialhauptsandes (*ds*), speciell die Untergrundbank vom Uferrande des Teltow und die vielfach nachgewiesene Unterlagerung dieser wasserführenden Schichten im Diluvialuntergrund der Thalsandwanne durch wasserundurchlässigen unteren Geschiebelehm (*du*) und Diluvial-(Glindower-)Thon sowohl die absolute Höhe als auch die Stetigkeit des Grundwasserstandes mitbedingt.

Auf der Nordseite der Niederstadt liegt die geologische Ursache für die niedrigeren Wasserspiegel und die höheren Schwankungen in der grösseren Mächtigkeit der relativ wasserdichten Massen, welche eine Verringerung des Einsickerungswassers zur Folge haben. Da aber trotzdem das die oberflächlichen Abflüsse dieser Gegenden sammelnde Pankefluss nach VEITMEYER die geringste oberirdische Wassermenge aufweist, so kann dies nach LOSSEN nur auf einen relativ grossen Verlust durch Verdunstung der Niederschläge bezogen werden. In Barnim, soweit seine Zuflüsse für das Grundwasser des Altalluviums in Betracht kommen, reicht die oberflächliche

---

1) Berliner Festschrift. 1886.

Auflockerung des durchschnittlich mächtiger und ununterbrochener zu Tage anstehenden oberen Geschiebelehms wohl hin, um ein rasches Abfliessen zu hindern, aber das so eingesickerte Wasser gelangt nur zum Theil zu grösserer Tiefe und zur unterirdischen Circulation, im Sommer und Herbst fällt der grösste Theil der Verdunstung anheim. Es ist interessant und spricht gewiss sehr für die Richtigkeit der hier und auf S. 300 ff. entwickelten Anschauung, dass zwei von verschiedenen Gesichtspunkten, vom geologischen und vom klimatologischen ausgehende Untersuchungen zum selben Resultat geführt haben. Als Consequenz dieses niedrigeren Wasserniveaus auf der Nordseite wird aber ein stärkeres Einsickern der Spree bei Hochstand zu betrachten sein.

## 2. München

siehe Seite 252. 270. 286. 300, sowie Fig. 20. 21. 26. 28—32.

## 3. Paris <sup>1)</sup>.

Das nachstehende geologische Profil (Fig. 36) schneidet den Untergrund der Stadt, von der Rue du Faubourg Poissonnière angefangen bis zur Barrière du Mont Parnasse und gibt so ein vollständig anschauliches Bild.

Die undurchlässige, wasserbedeckte Tertiärformation des Seinebeckens ruht unmittelbar auf der weissen Kreide mit Feuersteinen. Die Feuersteinknollen sind unregelmässig in ihr vertheilt, von sehr verschiedener Dimension, und so häufig, dass man in den Steinbrüchen der Umgebung ganze Halden davon beiseite gelegt findet.

Unmittelbar über der Kreideformation beginnen die alttertiären Ablagerungen des Beckens. Sie bestehen aus einem Complexe von abwechselnd marinen, brakischen und Süsswassersedimenten und füllen das tellerförmige Becken aus, in dessen Centrum Paris liegt.

Ungleich den Tertiärablagerungen des Münchener Plateaus und des Wiener Beckens (Profil Fig. 37) sind die des Pariser Beckens in Folge des steten Wechsels von Meeres- und Süsswasserbildungen, die auf ein fortwährendes Schwanken des Bodens schliessen lassen, viel complicirter.

Wir haben sechs Hauptglieder zu unterscheiden, von denen jedes wieder in mehrere Unterabtheilungen zerfällt; es sind:

1) DELESSE, Carte géologique souterraine de la ville de Paris. L'Institut. XXV. 1857. — Idem, Carte hydrographique souterraine de Paris. C. r. XLII. Ibid. LXIV. Bull. de la soc. géol. XIX. — KARRER, Der Boden der Hauptstädte Europas. 1881.

1. Die Sables inférieures, 2. der Calcaire grossier (Pariser Grobkalk), 3. die Sables moyens de Beauchamp, 4. das Terrain gypseux, 5. die Sables supérieures de Fontainebleau, und 6. die Meulières de Beauce.

Die Sables inférieures beginnen im Pariser Becken mit eigenthümlichen, feinen, marinen Sanden, den Sables de Bracheux, Conglomeraten mit Süßwassermuscheln, Sandsteinen mit tropischen Landpflanzen, und einem merkwürdigen Conglomerat, welches erfüllt ist mit fossilen Knochen von Säugethieren. Es ist eine Art von Beinhalt (Bonebed), wie es auch in älteren Formationen in Amerika, England, Deutschland u. s. w. mannigfach vorkommt — eine Schicht voll von Wasser zusammengeschwemmter Knochen. Hierauf lagert der bekannte Tegel von Paris (der Argile plastique), welcher eine brakische Bildung ist und ausser wenigen Muscheln hauptsächlich Pflanzenreste enthält. Er liegt

### Das Becken von Paris (nach DELESE).

Fig. 36 a.

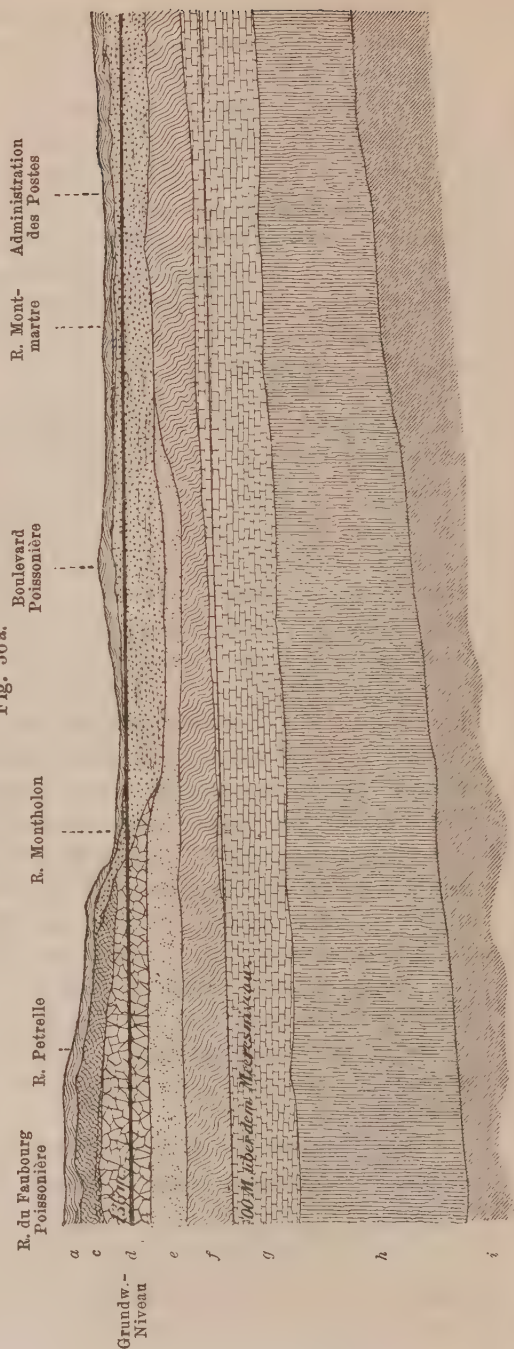
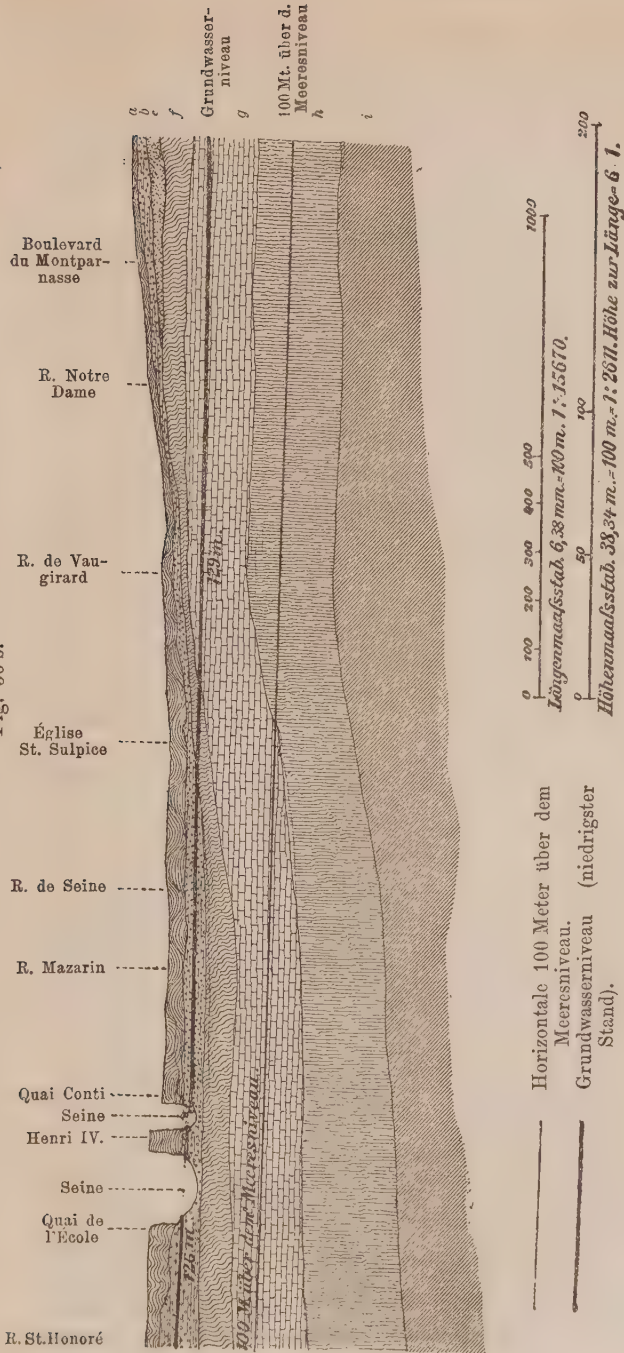




Fig. 36 b.



a	Remblais, Schutt (permeabel)	d	Calcaire lacustre (impermeabel)	g	Calcaire grossier (impermeabel)
b	Terrain de Transport	e	Sables moyens (permeabel)	h	Argile plastique
c	Marne et Gypse (impermeabel)	f	Marnes supérieures (impermeabel)	i	Terrain crétacé

unter ganz Paris, unmittelbar auf der weissen Schreibkreide ruhend, wie ein wasserundurchlässiges Pflaster ausgebreitet.

Ueber dem Argile plastique liegt an manchen Stellen des Pariser Beckens eine rein marine Sandablagerung, die Sables soissonais, in welcher das Auftreten der ersten Nummuliten zu signalisiren ist. Damit schliessen die Sables inférieures.

Das nächste und wichtigste Glied im Boden von Paris ist aber der Calcaire grossier, der Grobkalk. Derselbe erreicht 20—30 Meter Mächtigkeit, ist in zahlreichen Steinbrüchen aufgeschlossen und beginnt mit Glaukonit (Grünerde) führenden marinen Sanden und einem localen Beinbett von Haifischzähnen. Er selbst ist zum Theil Meeresbildung, zum Theil brakisches Sediment. Mit einer Lage von mergeligem Charakter (Marnes supérieures), welche ebenfalls unter ganz Paris sich ausbreitet, schliesst er ab.

Das dritte Glied des Pariser Beckens, die Sables moyens de Beauchamp, streichen nur mehr unter die höheren Theile von Paris, das Faubourg Poissonnière, Montmartre, Mont Parnasse u. s. w., in der inneren Stadt fehlen sie.

Das vierte Glied der Gypse von Paris beginnt mit einer Süsswasserbildung, dem Calcaire oder Travertin inférieur de Saint Quen, zum Theil verkieselte Kalksteine, welche Paläotherien- und Anaplotherienreste enthalten und als Mühlsteine Verwendung finden. Hierauf folgt der zu unterst aus marinen, zum grössten Theil aber aus Süsswasserablagerungen bestehende Complex der Gypse und Mergel von Montmartre, die wir nur unter dem nördlichen Theile von Paris entwickelt finden.

Ueber den Gypsen nimmt noch eine marine und Süsswasserbildung, der sogenannte Travertin moyen de Brie, einige Aufmerksamkeit für sich in Anspruch. Die Kieselkalke derselben dienen zu Mühlsteinen und werden nahe bei Paris (Melun, Pantin) gebrochen.

Alles unterhalb Paris ist aber bedeckt vom Terrain quaternaire, dem Diluvium und Alluvium (Depots caillouteux) der Seine, welche Ablagerungen unter der Bezeichnung Terrain du Transport begriffen werden. Darüber folgen die Remblais, die Anschüttungen und Anhäufungen durch Menschenhand.

DELESSE unterscheidet im Becken von Paris zwischen Infiltrationswasser (nappe d'infiltration) und zwischen unterirdischem Wasser (nappe souterraine). Das Infiltrationswasser fliesst der Seine zu, hat ein höheres Niveau als diese selbst und erhebt sich vom Flusse nach beiden Seiten hin immer höher, erst etwas steiler, dann sanfter, ganz nahe am Flusse etwa 1:100, und die Oberfläche bietet

daher die Form einer Mulde dar; es wird gespeist von den Wässern, die von den Hügeln kommen, zwischen denen die Seine eingesenkt ist, welche letztere mit Rücksicht auf diese die Rolle eines austrocknenden, drainirenden Kanals spielt, es ist dasjenige Wasser, das als Grundwasser unser Interesse besitzt. Das unterirdische Wasser befindet sich oberhalb des Argile de Beauce und des grünen Thon, vielfach über dem oben angeführten Infiltrationswasser. Während das letztere hauptsächlich im Thale der Seine und Marne sich ausbreitet, und hauptsächlich daselbst die Brunnen speist, kommt das auf dem grünen Thon fließende Wasser auf den Hügeln und Plateaus der Umgegend von Paris vor und gibt daselbst Veranlassung zu reichlicher Quellenbildung.

Die Grundwasserverhältnisse von Paris sind in dem Profil von DELESSE nach dem niedrigsten Stande vom 15. März 1854 dargestellt und bringt dasselbe das Ansteigen des Grundwassers mit der Entfernung vom Flusse zum Ausdruck; an den Ufern selbst sinkt es auf 127,5 Meter und stromabwärts selbst auf 125,5 Meter über dem Meere. Am linken Ufer beträgt die Niveaudifferenz mehr als 5 Meter, am rechten Ufer steigt diese Differenz auf das Doppelte. Das mittlere Gefälle ist etwas über 0,001 Meter auf 1 Meter, das der Seine nur 0,0002 Meter auf 1 Meter.

Dieser Unterschied im Gefälle hat nach DELESSE zur Folge, dass das Wasser selbst durch den permeabelsten Boden nur schwer abfließt. In Zeiten des Seinehochwassers infiltrirt das Seinenwasser den Boden, im Allgemeinen jedoch wird die Seine von dem den Hügeln der Umgebung von Paris entströmenden Grundwasser gespeist.

Nach DELESSE hängt die Form des Grundwasserspiegels von dem Stande der Seine ab, deren Schwankungen er wiederholt. Die Seine spielt nun gegenüber dem Grundwasser die Rolle eines drainirenden und austrocknenden Kanals. Es kommt eben hier wieder in Betracht, dass der Fluss in der durchlässigen Bodenschicht sein Bett hat, dass das Grundwasser sich allmählich zu demselben absenkt und dass eben die Seine als tiefster Drainagepunkt des Grundwassers aufzufassen ist, in Folge dessen müssen sich in dem Umkreise der Seine analoge Verhältnisse etabliren wie in Berlin und Wien (Leopoldstadt und Stadt).

Der Abstand zwischen Oberfläche und Grundwasserniveau, der sich aus dem Profil Fig. 36 bei diesem Grundwasserstande ergibt, erreicht sein Minimum mit ca. 3 Metern.

Das Infiltrationsgebiet der Seine, in welchem das Infiltrationswasser circulirt, ist ein sehr ausgedehntes, doch war es möglich bei

dem gegen den Fluss zu immerhin nicht unbeträchtlichen Stande des Grundwassers gegenüber dem der Seine, durch Drainirung das Niveau des Grundwassers herabzudrücken. DELESSE macht auch schon auf die hygienische Seite der Grundwasserströmungen aufmerksam, indem er die Bedenken hervorhebt, welche der Umstand verursacht, dass auf diesem Wege die Drainage des Friedhofs Mont-Parnasse unter einem Theil des Faubourg St. Germain durchsickert <sup>1)</sup>.

#### 4. Wien <sup>2)</sup>.

Wien liegt im Donauthale, unterhalb der Stromenge bei Klosterneuburg, fast unmittelbar an jenem langen Gebirgsspalt, welcher durch den jähen Absturz der Alpen gebildet wird, und durch die längs derselben auftretenden warmen Quellen besonders ausgezeichnet ist. Der gegenüber liegende Flügel der Alpen, das Rosalien- und Leithagebirge und die kleinen Karpathen, schliessen in dreieckiger Figur die Niederungen, welche wir das alpine Wiener Becken nennen, dessen Spitze bei Gloggnitz ist, während die Donau, welche die Basis bildet, durch die nächste Flussenge bei Theben in Ungarn einbricht.

Der Configuration nach zerfällt das Terrain in eine ziemlich ebene Partie, welche an den Donauufeln, sowohl des eigentlichen Stromes, als ihres natürlichen Armes, des Donaukanals, sich entwickelt, im Allgemeinen in einer Höhe von 4—6 Metern über dem Nullpunkte an der Ferdinandsbrücke (156,817 Meter) verläuft und das ganze Donaugebiet bis zu dem sich scharf markirenden Steilrande repräsentirt, welcher sich von den Gehängen des Leopoldsbirges in der Richtung von Nord nach Südost ununterbrochen und in fast gleichmässiger Höhe bis zur Nussdorfer Linie hinzieht und von da an durch die Thurm-gasse, Berggasse, Salzgries an die Franz-Josef-Kaserne, wo er von dem Wienflusse, einer drainirenden, bis in den Tegel (den undurchlässigen Untergrund) einschneidenden

1) Bull. de la Soc. géol. 1862.

2) Vergl. E. SUESS, Der Boden von Wien. 1882. — F. KARRER, Der Boden der Hauptstädte Europas. 1881. — Wiens sanitäre Verhältnisse und Einrichtungen. 1881. — BERGER, Mittheilungen über die Bodenverhältnisse in Wien. Zeitschr. d. österr. Archit.- u. Ingen.-Vereins. 1881. — Technischer Bericht über die Grundwasserverhältnisse in Wien, erstattet vom Stadtbauamt im Februar 1880. Wien 1882. — Resultate der Grundwasserbeobachtungen. Wien 1886, erhoben und zusammengestellt vom Stadtbauamt (1883. 1884. 1885). — Monatliche Uebersichten der Ergebnisse von hydrometrischen Beobachtungen. Militär-statistische Jahrbücher. Wien. (Daten, welche das Decennium 1876—85 betreffen.)



Fig. 37a.

Profil durch den Boden der Stadt Wien von WSW nach ONO.

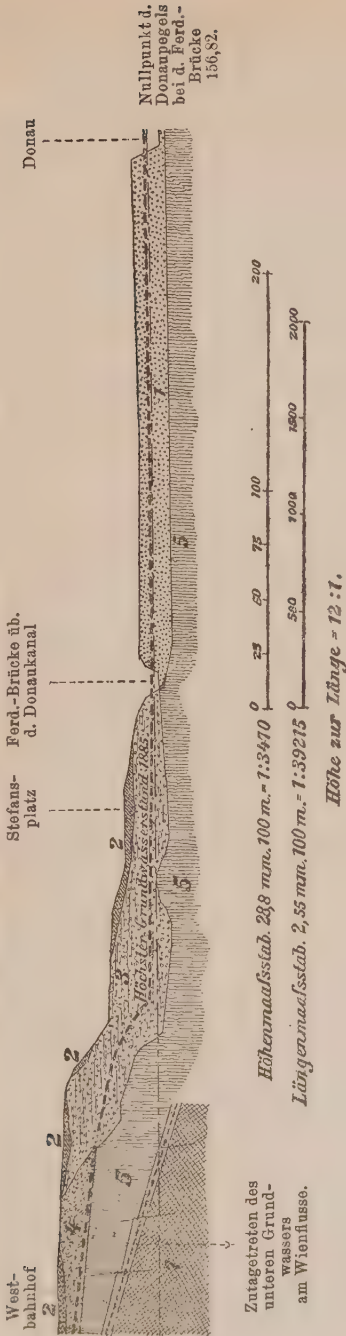
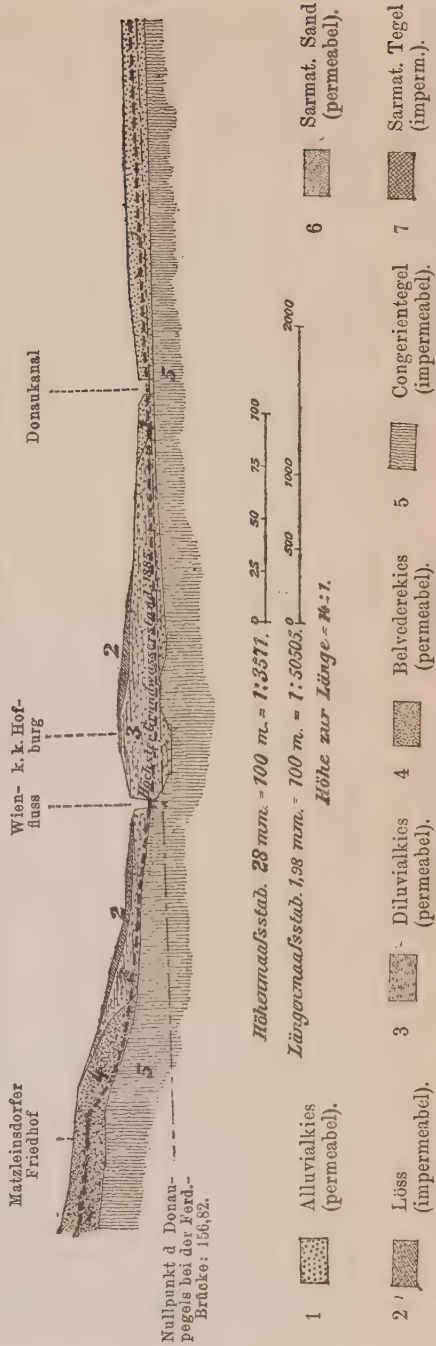


Fig. 37b.

Profil durch den Boden der Stadt Wien von Süd nach Nord entlang dem 34° 2' ö. L.



Einsenkung durchschnitten wird, um sich jenseits der Wien am rechten Ufer der Donau in wechselnder Entfernung von der letzteren fortzusetzen.

Mit diesem Steilrand beginnt die höhere Stufe, der Theil Wiens mit einer ansteigenden, theils welligen, theils abgestuften Oberfläche (Fig. 37 a u. b).

Es ist von SUESS nachgewiesen worden, dass Wien nicht zwischen zwei selbstständigen Gebirgsszügen, sondern mitten in den Alpen selbst, zwischen der Centralkette und der Grauwackenzone einerseits und der Sandsteinzone andererseits, unmittelbar auf dem Gebiete der eingesunkenen Kalksteinzone liegt.

Die Tiefe dieser eingesunkenen Felspartie ist nicht bekannt, da noch mit keiner Bohrung dieselbe erreicht wurde. Dieser eingesunkene Gebirgsbruch bildet wahrscheinlich den Untergrund aller sich darauf aufbauenden Gebilde.

Das Alluvialgebiet der Donau, die tiefe Stufe, welche bis an den erwähnten Steilrand reicht, enthält zu oberst Schlamm (Kitt), dann Sand und Schotter (1), ebenso die Alluvionen des anschließenden Wienflusses und der übrigen kleinen Wasseradern.

Der Abhang des Steilrandes selbst besteht aus Lehm, Löss (2) und dann alluvialem Schotter (3). Diese diluvialen Schichten, welche sich gegen das Marchfeld ausbreiten, sind durch das Alluvialgebiet der Donau unterbrochen, und liegen die Alluvialbildungen (1) im ganzen Wiener Gebiet auf dem blauen Tegel der tertiären Schichtungen.

Die Bildungen der nun folgenden mitteltertiären (miocänen) Schichten reihen sich in folgender Weise nach der Tiefe zu: Je eine undurchlässige und die zugehörige Schotter- und Sandschicht gehören einer Formation für sich an, wie dies die eingeschlossenen organischen Ueberreste beweisen.

Die Süßwassergruppe, bestehend aus dem sogenannten Belvederesand und Belvedereschotter, gelbes und gelbrothes, flaches Quarzgeschiebe, zuweilen rothe Thone enthaltend, dann blauen Tegel (Congerien- oder Inzersdorfer Tegel) und blauen Sand.

Die sarmatische Gruppe, enthaltend Cerithiensand und Cerithiensandstein, gelb und sonst licht gefärbt, blattelig, dann blauer Tegel (sarmatischer oder Hernalser Tegel).

Die marine Gruppe (jüngere Mediterranstufe), bestehend aus Gerölle, in der Regel zu festen Massen verbundene Conglomerate, dann fester, lichtgelber Kalkstein, der Nulliporen- oder Leithakalk, ferner lichtgelber Sand, und endlich als Sediment dieser Gruppe der

marine Tegel (Badener Tegel), bereits auf der eingesunkenen Kalksteinzone lagernd.

Die Localnamen der drei Tegelgattungen bezeichnen ungefähr die Ausbreitungspunkte derselben.

Die Schichten ruhen immer auf älteren, keineswegs stets auf nächst älteren Schichten, diese können weggeschwemmt sein. Belvederesand und -Schotter ruhen aber stets auf Inzersdorfer Tegel.

Es kommt auch häufig vor, dass Diluvialbildungen unmittelbar auf Inzersdorfer Tegel liegen; in ähnlicher Weise sind oft die ganzen Diluvialbildungen abgeschwemmt, und ruhen Alluvialbildungen dann unmittelbar auf Inzersdorfer Tegel.

Der Inzersdorfer- oder Congerientegel bildet in beträchtlicher Tiefe den Untergrund der Stadt Wien, da man ihn bei tieferen Bohrungen immer erreicht, selten aber durchbohrt hat.

Dieser Tegel zieht sich nun, unabhängig von der Oberfläche, insbesondere von dem oben erwähnten Steilrand der Donau, unter derselben hin, wellenförmige Erhebungen und muldenförmige Einsenkungen bildend, offenbar ebenfalls früheren Wasserläufen seinen Ursprung verdankend. Unterhalb der sogenannten inneren Stadt präsentiert sich uns dieser Tegel analog wie in München der Flinz in Form einer seichten Mulde, die jedoch wieder durch einen sanften unterirdischen Rücken, der in Gestalt eines Bogensegmentes vom Schottenthore sich etwa bis zur Seilerstette herüber zieht.

Ziemlich parallel mit dem oberen Steilrand, jedoch viel weiter entfernt von der Donau, erhebt sich der Tegel ziemlich hoch, zu einer höheren, viel unebeneren Fläche, einer Linie folgend, die von der Josefstädter Strasse, Buchfeldgasse und Lenaugasse unterhalb der Hofstallungen zur Fichtestrasse führt, den Wienfluss kreuzt und zum Rennweg und zur Artilleriekaserne verläuft. Dieser Steilrand stellt sich am deutlichsten dort dar, wo die Oberfläche der Stadt sich zu ihm am tiefsten herein senkt, nämlich an der Stelle, wo er das Thal des Wienflusses kreuzt und er ragt hier sogar theilweise an die Oberfläche empor.

Durch diese Configuration der undurchlässigen Schichte ergibt sich zuvörderst das Resultat, dass mit der seitlichen Entfernung von der Donau trotz des nicht unbedeutenden Ansteigens der Oberfläche diese letztere sich in verticaler Richtung nicht bloß vom Wasser nicht entfernt, sondern sich demselben sogar nähert. Wir erkennen dies im Profil Fig. 37 aus der wechselseitigen Lage der Oberfläche zum Grundwasserniveau. In der Nähe der Burg beträgt der Abstand der Oberfläche vom Grundwasserniveau über 15 Meter, weiter

aufwärts sinkt dieser Abstand auf 5 Meter und noch weniger. So erklärt sich, dass in den Jahren 1879—83 das Grundwasser an Stellen zu Tage trat, die 35—40 Meter über dem 0 Punkte des Donaupegels gelegen waren.

Dadurch bildet sich ein Grundwasserniveau, das zunächst mit ziemlich steilem Abfall dem Donaugebiet zuströmt, um erst in diesem Bezirk ein flaches Absinken zu zeigen. Im Donaugebiet beträgt dasselbe nur ca. 5 Meter auf 1600 Meter oder 0,003 Meter auf 1 Meter, in den höheren Theilen dagegen steigt das Gefälle bis auf 30 Meter auf 1600 Meter oder auf 0,017 Meter auf 1 Meter. Der höchste Niveauunterschied, der auf dem Profil zur Darstellung kam, beträgt 35 Meter.

Eine weitere Folge dieser Configuration des Tegels besteht darin, dass sich das Grundwasser auf diese Weise in zwei nach chemischer und mechanisch-physikalischer Beziehung ganz verschiedenartige Gebiete sondert.

Der Steilrand, dessen Niveau höher ist als das der Donau (auch bei Ansteigen der letzteren), bewirkt, dass die Infiltration der Donau, die bei der muldenartigen Einsenkung des Tegels unerlässlich ist, sich nur bis zu diesem Steilrande erstrecken kann und hier ihr Ende findet. Ragt nun schon der kleine, oben erwähnte, halbmondförmige Rücken zeitweise inselartig aus diesem von der Donau beeinflussten Gebiete hervor, so ist dies um so mehr bei den oberhalb des Tegelsteilrandes gelegenen Partien der Fall.

SUESS hat nun diese Trennung in zwei Gebiete aus der chemischen Beschaffenheit der Brunnen bewiesen. Wenn man diese Brunnen von dem Hochbezirke an bis zur Donau verfolgt, so findet man, dass die Härte des Wassers im Allgemeinen anfänglich, nämlich innerhalb des Hochbezirks, gegen den Donaubezirk zu zunimmt, längs dem Rande des Donaugebietes nimmt jedoch die Härte, weil nun das weiche Donauwasser hinzutritt, ab. Da die Härte des Brunnenwassers von den im Boden zur Auflösung gelangenden Kalk- und Magnesiasalzen abhängt, so muss die Härte des Grundwassers im Hochbezirke an und für sich eine höhere sein als im Donaubezirke, wo das weiche Donauwasser eine Verdünnung herbeiführt, aber es muss im Hochbezirke selbst anfänglich bis zur Grenze des Steilrandes eine Zunahme der Härte erfolgen, da das Grundwasser gegen diesen Steilrand zu abfließt beim Anlangen an diesem Steilrand längere Bodenschichten durchflossen hat und also mehr Salze aufnehmen konnte.

In physikalisch-mechanischer Beziehung zeigt sich dann die Zweitheilung des Grundwassergebietes darin, dass die Schwankungen



im Grundwasserstande in diesen beiden Terrainabschnitten sehr verschieden verlaufen.

In dem die Donau umschliessenden Theil bis zum Tegelsteilrand haben wir Verhältnisse, den bei Berlin geschilderten ganz analog. Die Donau resp. der Donaukanal haben zwar ihre Sohle in undurchlässiger Schicht, allein sie schneiden nicht tief genug in dieselbe ein, um einen freien Abfluss des Grundwassers (wie in München) zu ermöglichen. Das Abflussniveau sinkt und steigt mit dem Donauwasserstande, es muss also bei Hochstand der Donau eine Stauung eintreten, der ein Ansteigen des Grundwassers folgt, und bei Tiefstand der Donau ein beschleunigter Abfluss, dem ein Absinken des Grundwassers folgt; ja da die Erhöhung des Donau-niveaus viel rascher erfolgt als die consecutive Anstauung des Grundwassers, das ja erst durch ein Material mit viel Widerständen fliesst, so muss auch ein deutliches und bedeutendes Einsickern des Donauwassers in den Untergrund erfolgen; es wird in dieser Zeit das Grundwasser zu beiden Seiten der Donau mit dieser selbst einen ähnlichen, nach beiden Seiten hin abfallenden Berg bilden, wie dies für Berlin constatirt ist, der erst allmählich durch Zufluss des Grundwassers umgewandelt wird zu einer Wasserfläche, die nach beiden Seiten vom Flusse ansteigt.

In den Hochbezirken ist eine Einsickerung von Seite des Flusses aus physikalischen Gründen unmöglich, aber auch die Stauung durch den Fluss wird sich nur wenig oder gar nicht geltend machen, weil der Abfall des Steilrandes ein relativ so steiler ist, dass das Grundwasser des tieferen Bezirkes nicht so hoch zu steigen pflegt, um diesen Abfluss zu behindern.

Die Folge davon ist, dass sich in dem Ablauf der Schwankungen des Grundwassers in diesen Gebieten zweierlei Rhythmen zeigen müssen; der eine Rhythmus wird hauptsächlich durch die Verhältnisse des Abflusses beherrscht, die von dem Donauwasserstande abhängen, es wird dieser Rhythmus also der der steigenden und fallenden Donau sein (mit einer entsprechenden Verspätung), nach 10jährigen (1876—85) Grundwassermessungen am Brunnen in der Rossauer Kaserne<sup>1)</sup> zeigt sich die Uebereinstimmung sowohl nach Rhythmus als auch nach Amplitude der Schwankung, das Maximum tritt im Juli ein, das Minimum im November, die Amplitude der Jahreschwankung beträgt ca. 1,180 Meter; der andere Rhythmus, für das Hochgebiet, wird, da hier die Verhältnisse des Abflusses durch die

---

1) Militairisch-statistische Jahrbücher. Wien.

Donau sich nicht wesentlich ändern, hauptsächlich durch die Momente des Zuflusses, also die meteorischen Niederschläge in ihren Beziehungen zur Verdunstung, und die Zuflüsse von höheren Gebieten beherrscht. Als Beispiel können die Beobachtungen in der Rennweger Kaserne<sup>1)</sup> dienen, aus denen sich sowohl der Einfluss der Niederschläge als auch der des Sättigungsdeficits entnehmen lässt.

Die seit 1883 an 160 Brunnen angestellten Beobachtungen umfassen eine zu kurze Zeit, als dass nach diesen Richtungen hin schon entscheidende Resultate vorliegen könnten. Sie lassen sich wohl für die relativ einfachen Verhältnisse des niederen Donaugebietes bestimmen. Dieses Gebiet umfasst von den untersuchten Brunnen fast sämtliche Brunnen des I., II., III. und IX. Gebietes, und von den übrigen Bezirken hauptsächlich jene Brunnen, die sich noch innerhalb der niederen Partie des Tegels befinden.

Auf diese Weise ist die Rolle, die der Donaukanal und die Donau mit Rücksicht auf das Bodenwasser spielt, auch eine zweifache; die oberen Partien, oberhalb des Steilrandes des Tegels, deren Grundwasser ja auch der Donau zuströmt, werden von der Donau entwässert, die unteren werden zeitweise dagegen von ihr bewässert, es sickert das Donauwasser in den Boden.

Auch in der Grösse der Schwankungen, der Amplitude spricht sich dieses doppelte Verhalten aus, die Brunnen des Donaugebietes schwanken im Allgemeinen viel stärker, ihre Amplitude ist viel höher als die des Hochgebietes. (Jahresamplitude — 10 jähriger Durchschnitt — für den Brunnen der Rossauer Kaserne [Donaugebiet] 1,18 Meter, für den Brunnen in der Rennweger Kaserne 0,4 Meter, in dem Garnisonsspital 0,25 Meter.)

In Wien hat sich eine wissenschaftliche Voraussage bewahrheitet, die an der Hand der Boden- und Grundwasseruntersuchungen von E. SUESS im Jahre 1862 aufgestellt wurde, er fand damals, dass der Boden der Stadt Wien manche Bedenken wach werden lässt über die Folgen der Hereinleitung einer so grossen Wassermenge, wie sie zu Zwecken der Wasserversorgung thatsächlich erfordert wird. Die Bewässerung einer grossen Stadt sei, wenn für den Abfluss des Wassers nicht in gehöriger Weise gesorgt ist, nur ein gar zweifelhaftes Geschenk. SUESS deutet auch die Hauptrichtungen an, in denen die Drainage zuerst einsetzen müsste.

Die seit Einführung der Hochquellenleitung erfolgte Sistirung der Wasserentnahme mittelst Pumpbrunnen, wodurch früher täglich

---

1) Militairisch-statistische Jahrbücher. Wien.

ein Quantum von 15000 Cbm. aus dem Boden gehoben worden war, endlich auch der in den Boden einsickernde Theil der zugeleiteten Wassermassen haben in den Jahren 1879—83 zu einem bedeutenden Ansteigen des Grundwassers geführt, das sich besonders in den höher gelegenen Theilen (des IV.—IX. Bezirkes) geltend gemacht und zu dem auf S. 348 angeführten Zutagetreten des Grundwassers geführt hat, und als dessen letztes Resultat das Unterwassersetzen sehr zahlreicher Keller auftrat, da in einem grossen Theile der Stadt die Kanäle über der Kellersohle situirt waren und so nicht zur Entwässerung der letzteren beitragen konnten. Das zur Behebung dieser Uebelstände in Anwendung gebrachte Mittel, durch Tieferlegen der Kanäle, durch Herstellung von Drainagen, hat in der That bereits wirksame Abhilfe geschaffen, wie dies besonders einige Brunnen im VIII. Bezirk zeigen, in denen seit 1883 ein constantes Absinken des Grundwasserstandes sich ausprägt. Es ist nach den im Capitel „Zur Bedeutung der Grundwasserschwankungen“ gegebenen Darlegungen begreiflich, dass eine derartige künstliche Erniedrigung des Grundwasserstandes nicht gleichwerthig ist mit dem durch Austrocknung herbeigeführten Absinken (vergl. auch „Volkskrankheiten“ Cap. III).

---

Druckfehler.

S. 114. Z. 15 v. o. lies NESSLER statt MOSER.

---











3 2044 073 351 959





3 2044 073 351 959